

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-318081

(43)Date of publication of application : 16.11.2001

(51)Int.Cl.

G01N 29/00

(21)Application number : 2000-137756

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 10.05.2000

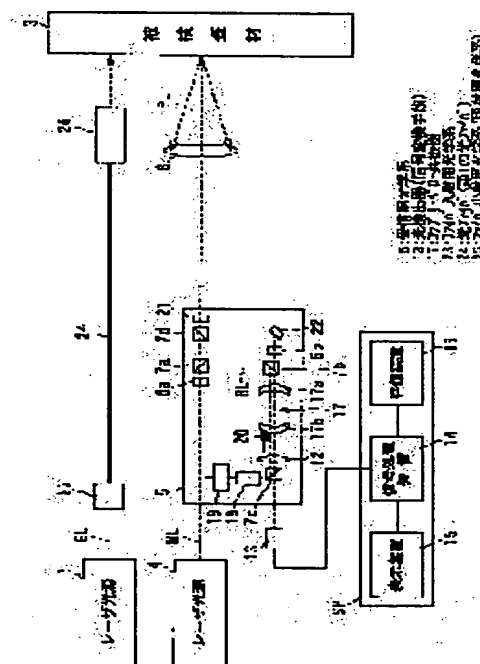
(72)Inventor : OCHIAI MAKOTO
KANEMOTO SHIGERU
MIURA TAKAHIRO
MUKAI SHIGEHICO
SANO YUJI
ITO TOMOYUKI
NARUSE KATSUHIKO
SORAMOTO SEIKI

(54) LASER ULTRASONIC INSPECTION DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently detect an inspected material in a narrow part, etc., without impairing remote and non-contact properties by carrying a laser beam for transmitting/receiving an ultrasound by using an optical fiber and a small-sized inspection probe of an optical system for irradiation or the like.

SOLUTION: This device has a first laser light source 1, a second laser light source 4, an optical system 5 for reception, a signal conversion means 13, and a signal processing means SP. This device is further equipped with at least one optical fiber 24 for carrying the laser beam EL oscillated by the light source 1 into close proximity with the inspected material 3, and the optical system 25 for irradiation provided on the material 3 side end of the optical fiber 24 to irradiate the material 3 with the laser beam EL under specified irradiating conditions.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.08.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

BEST AVAILABLE COPY

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

【特許請求の範囲】

【請求項1】 被検査材に超音波を発生させるための第1のレーザ光を発振する第1のレーザ光源と、前記被検査材に発生した超音波信号を受信するために前記被検査材に照射される第2のレーザ光を発振する第2のレーザ光源と、前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分から前記超音波に関する情報を光学的に検知する受信用光学系と、この受信用光学系において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段と、この信号変換手段の出力信号を信号処理し、かつ前記超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理手段とを有するレーザ超音波検査装置において、前記第1のレーザ光源から発振したレーザ光を前記被検査材近傍まで伝送する少なくとも1本の光ファイバと、この光ファイバの前記被検査材側先端に設けられ前記第1のレーザ光を前記被検査材に所定の照射条件で照射する照射用光学系とを備えたことを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項2】 被検査材に超音波を発生させるための第1のレーザ光を発振する第1のレーザ光源と、前記被検査材に発生した超音波信号を受信するために前記被検査材に照射される第2のレーザ光を発振する第2のレーザ光源と、前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分から前記超音波に関する情報を光学的に検知する受信用光学系と、この受信用光学系において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段と、この信号変換手段の出力信号を信号処理し、かつ前記超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理手段とを有するレーザ超音波検査装置において、前記第2のレーザ光源から発振したレーザ光を前記被検査材近傍まで伝送させ、かつ前記第2のレーザ光源によって照射されたレーザ光の前記被検査材表面における反射成分を前記受信用光学系まで伝送する少なくとも1本の光ファイバと、この光ファイバの前記被検査材側先端に設けられレーザ光の照射・集光を行うための照射・集光光学系とを備えたことを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項3】 被検査材に超音波を発生させるための第1のレーザ光を発振する第1のレーザ光源と、前記被検査材に発生した超音波信号を受信するために前記被検査材に照射される第2のレーザ光を発振する第2のレーザ光源と、前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分から前記超音波に関する情報を光学的に検知する受信用光学系と、この受信用光学系において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段と、この信号変換手段の出力信号を信号処理し、かつ前記超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理手段とを有するレーザ超音波検査装置において、前記第1のレーザ光源から発振した第1のレーザ光を前記被検査材近傍まで伝送する少なくとも1本の第1の光ファイバと、この第1の光ファイバの前記被検査材側先端に設

けられ前記第1のレーザ光を前記被検査材に所定の照射条件で照射するための照射用光学系と、前記第2のレーザ光源から発振した第2のレーザ光を前記被検査材近傍まで伝送し、かつ前記第2のレーザ光源によって照射された第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分を前記受信用光学系まで伝送する少なくとも1本の第2の光ファイバと、この第2の光ファイバの前記被検査材側先端に設けられ前記第2のレーザ光の照射・集光を行うための照射・集光光学系とを備えたことを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項4】 被検査材に超音波を発生させるための第1のレーザ光を発振する第1のレーザ光源と、前記被検査材に発生した超音波信号を受信するために前記被検査材に照射される第2のレーザ光を発振する第2のレーザ光源と、前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分から前記超音波に関する情報を光学的に検知する受信用光学系と、この受信用光学系において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段と、この信号変換手段の出力信号を信号処理し、かつ前記超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理手段とを有するレーザ超音波検査装置において、前記第1のレーザ光と前記第2のレーザ光とを同一光軸上に重ね合わせる光合成・分岐手段と、前記第1および第2のレーザ光をそれぞれ入射する両用入射用光学系と、前記第1および第2のレーザ光を前記被検査材近傍までそれぞれ伝送し、かつ前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分を前記受信用光学系まで伝送する両用光ファイバと、この両用光ファイバの前記被検査材側先端に設置され、前記第1および第2のレーザ光を前記被検査材に所定の照射条件で照射し、かつその反射成分を所定の集光条件で集光するための両用照射・集光光学系とを備えたことを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、被検査材に超音波を発生させる第1のレーザ光源が、パルス発振するNd:YAGレーザ光源であることを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項6】 請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、被検査材表面に照射され、超音波信号を受信するための第2のレーザ光源が、連続発振するNd:YAGレーザの第2高調波光源であることを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項7】 請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、光ファイバの入射部に、その端面の反射による戻り光量を少なくする反射防止手段を設けたことを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項8】 請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、超音波に関する情報を光学的に検知するための受信用光学系がマイケルソン干渉

計であり、前記受信用光学系に被検査材表面における反射成分を伝送するための光ファイバがシングルモード光ファイバであることを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項 9】 請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、超音波に関する情報を光学的に検知するための受信用光学系がファブリー・ペロー光学計であり、このファブリー・ペロー光学計に被検査材表面における反射成分を伝送するための光ファイバがグレーテッドインデックス光ファイバ、ステップインデックス光ファイバのいずれかであることを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項 10】 請求項 9 記載のレーザ超音波検査装置において、ファブリー・ペロー光学計の共振器を制御する参照光が、被検査材表面における反射成分を伝送する光ファイバと同じコア径を有する光ファイバを透過することを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【請求項 11】 請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、第 1 のレーザ光源から発振された第 1 のレーザ光を光ファイバに入射するための焦点分散型光学系を設けたことを特徴とするレーザ超音波検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、小型、高温、狭隘部あるいは稼動部などのように接触や接近が困難な計測対象において、き裂や欠陥の検査あるいは材料評価を非接触かつ非破壊で高精度に行うレーザ超音波検査装置に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、発電プラントの機器や構造材料のき裂検査を行う一手段として、近年レーザ超音波法が提案されている。この技術の概要については、例えば「山脇：“レーザ超音波と非接触材料評価”、溶接学会誌、第 64 巻、No. 2、P. 104-108 (1995 年発行)」などに記載されているように、被検査材に対し、多くの場合パルスレーザ光を照射することで発生する熱的応力、あるいは気化反力を利用して超音波を送信する一方、多くの場合連続発振する別のレーザ光を受信点に照射し、その直進性や可干渉性を用いて超音波によって誘起される変位または振動速度を受信する技術である。超音波を用いて材料のき裂や内在欠陥の検出、あるいは材料特性の評価を行えることは周知技術であり、レーザ超音波法によれば、これらを非接触で行うことが可能であり、種々の材料評価分野への応用が期待されている。

【0003】レーザ超音波法における超音波の送受信手段としては、いくつか異なる光学系が提案されており、ここでは本発明に関係が深い、パルスレーザ光照射による超音波の発生と、ファブリー・ペロー共振器を用いた超

音波の受信について、図 4 2 に代表的な従来のレーザ超音波検査装置のブロック構成図を示す。

【0004】図 4 2 に示すように、超音波発生用のレーザ光源 1 から発振したレーザ光 EL は、光学系 2 を介して被検査材 3 表面の所定位置に所定のビーム形状で照射される。このレーザ光源 1 としては、Q スイッチ YAG レーザなどが多く用いられる。

【0005】したがって、従来のレーザ超音波検査装置では、被検査材 3 と照射レーザ光 EL との相互作用により、被検査材 3 には縦波、横波、表面波など種々のモードの超音波が発生し、その超音波は被検査材 3 に含まれるき裂、欠陥あるいは被検査材 3 の材料特性により反射、散乱、音速変化などの現象を発生し、ここではそれらについての詳細な説明を割愛する。いずれにしても、ある伝播過程に基づいて伝播した超音波が被検査材 3 上の任意の計測点に到達すると、その部位に変位を生じる。

【0006】一方、図 4 2 において、超音波検出用のレーザ光源 4 から発振したレーザ光 ML は、レンズ 8 を介して被検査材 3 上の計測点に所定の量だけ照射する。このレーザ光源 4 としては、周波数安定化 He-Ne レーザ、アルゴンレーザ、YAG レーザなどの連続発振レーザ光源が多く用いられる。

【0007】そして、計測点が超音波の到達により変位する際、その点に照射され反射されるレーザ光 PL の周波数は、ドブラー効果によって振動速度に比例した量だけシフトする。ここで、被検査材 3 の表面が光学的に粗ければ、反射光 PL は散乱し、その一部がレンズ 9 を経て光ファイバ 10 に入射される。この光ファイバ 10 の透過光は、カプリング用光学系 11 を介して受信用光学系 (ROP) 5 におけるファブリー・ペロー共振器 17 に導かれる。

【0008】このファブリー・ペロー共振器 17 に導かれた光成分 PL の一部は、ファブリー・ペロー共振器 17 を透過した後、レンズ 12 を経て光検出器 13 に導かれる。このようにして受信用光学系 5 の出力光は、光検出器 13 で電気信号に変換され、この電気信号が信号処理装置 SP 内の信号処理装置 14 で所定の信号に増幅され、かつフィルタリングされて表示装置 15 にて結果が表示されるとともに、評価装置 16 で信号が評価・記録される。

【0009】次に、ファブリー・ペロー共振器 17 の動作について説明する。

【0010】ファブリー・ペロー共振器 17 は、図 4 2 に示すように反射率が共に 100% よりも小さい対向する 2 枚のミラー 17a、17b から構成される光学共振器であり、ミラー 17a と 17b との間隔 r が入射される光の波長 λ の整数 n 倍である時、ミラー 17a と 17b との間で光が共振して透過光量 I が最大となるものである。

【0011】図43は共振器長 r を人為的に波長 λ 以上の距離走査した場合のファブリ・ペロー共振器17の透過光量 I の変化を示す。図43に示すように、共振器長 r が波長 λ の整数 n 倍になる時点で透過光量 I が最大となり、その後速やかに減衰するという挙動を波長ごとに繰り返すことが分かる。

【0012】一方、図43に示す曲線で単位長さ変化当たりの透過光量変化率が最大となるA点に共振器長 r を固定し、光周波数 ν ($=c/\lambda$ c :光速)を走査した場合の透過光量 I の変化を図44に示す。これは相対的には光周波数 ν (あるいは波長 λ)を固定して共振器長 r を変化させた場合と同じ挙動となり、 $(\nu_0 + \Delta\nu) = r/n$ でピークを有する曲線となる。

【0013】このように調整されたファブリ・ペロー共振器17に被検査材3から反射された光PLを入射する場合について説明する。通常の場合、被検査材3の表面は静止しているので、その被検査材3表面で反射された光PLの周波数は ν_0 のままであり、ファブリ・ペロー共振器17の透過光量 I は I_0 で一定である。

【0014】しかし、超音波が計測点に到達すると、上述したように計測光PLの周波数は、ドブラシフトにより $\pm\nu_D$ だけ変化するので、図44に模式的に示した通り、ファブリ・ペロー共振器17の透過光量 I もそれに応じて $\pm I_D$ だけ変化することになる。

【0015】すなわち、ファブリ・ペロー共振器17によって、超音波の到達を透過光量の強度変化として検出することが可能となる。この光の強度変化は、アバランシェフォトダイオード (以下、APDという)、PINフォトダイオード (以下、PIN-PDという)、フォトダイオード (以下、PDという)、光電子増倍管 (以下、PMという) などの光検出器13を用いて電気信号に変換することができるので、オシロスコープなどを用いて横軸に時間、縦軸に電気信号強度を表示させれば、超音波信号を表示装置15にて表示・記録して観測することができる。

【0016】他方、上述したようにファブリ・ペロー共振器17において対向するミラー17a、17bの間隔 r は、入射される光の波長 (例えば、He-Neレーザ光の場合約633nm) よりも十分短い空間的長さで調整しなければならず、周囲温度変化による部品の熱膨張や、周辺の機械的な振動により、調整が容易にずれることがある。

【0017】そこで、従来では図45に示すような共振器制御系を備えたレーザ超音波検査装置もある。なお、図45において図42に示すレーザ超音波検査装置と同一の部分には同一の符号を付して重複する説明を省略する。

【0018】このレーザ超音波検査装置では、図45に示すように超音波検出用のレーザ光源4から発振したレーザ光MLは、受信用光学系 (ROP) 5における1/

2波長板6aで偏光面が制御された後、偏光ビームスプリッタ7a、レンズ8を介して被検査材3上の計測点に所定の量だけ照射する。

【0019】そして、計測点が超音波の到達により変位する際、その点に照射され反射されるレーザ光PLの周波数は、ドブラー効果によって振動速度に比例した量だけシフトする。ここで、被検査材3の表面が光学的に粗ければ、反射光PLは散乱し、その一部がレンズ9を経て光ファイバ10に入射される。この光ファイバ10の透過光は、カプリング用光学系11と偏光ビームスプリッタ7bを介してファブリ・ペロー共振器17に導かれる。このファブリ・ペロー共振器17に導かれた光成分PLの一部は、ファブリ・ペロー共振器17を透過した後、レンズ12および偏光ビームスプリッタ7cを経て光検出器13に導かれる。このようにして受信用光学系5の出力光は、光検出器13で電気信号に変換され、この電気信号が信号処理装置SP内の信号処理装置14で所定の信号に増幅され、かつフィルタリングされて表示装置15にて結果が表示されるとともに、評価装置16で信号が評価・記録される。

【0020】一方、レーザ光MLの一部は、偏光ビームスプリッタ7aで予め分岐され、被検査材3を介さず参照光RLとして偏光ビームスプリッタ7bを介してファブリ・ペロー共振器17に直接入射する。その透過光を被検査材3からの反射光PLと偏光ビームスプリッタ7cで分離し、光検出器18で検出する。

【0021】ここで、上記参照光RLは、光路上でいかなる周波数シフトも受けないので、本来ならば光検出器18の出力信号レベルは常に一定となるべきである。仮に、光検出器18の信号レベルが変化するのであれば、それは共振器長 r が何らかの理由によって変化していることを意味するので、光検出器18の出力信号レベルを制御器19を経由してミラー17bを駆動するピエゾ素子などの駆動機構20に入力させ、光検出器18の出力信号レベルが一定となるようにミラー17bを駆動することにより共振器長 r を常に最適値に制御することができる。

【0022】このように構成したことにより、光検出器13は超音波計測用のMHz帯域の高速検出器を、光検出器18には外乱振動や温度変化検知用の高々kHz帯域の低速検出器をそれぞれ用いることができ、特定の帯域の信号を高感度に検知することができるようになる。

【0023】一方、図46に示す従来のレーザ超音波検査装置のように参照光RLを用いず、計測光PLを用いてファブリ・ペロー共振器17を制御する手段も周知である。これは検出すべき超音波信号の帯域 (MHz帯域) とファブリ・ペロー共振器17の外乱要因である振動・温度の揺動帯域 (高々kHz帯域) とが大きく異なることを利用し、駆動機構20に比較的応答の遅い機構を適用することで、超音波信号には応答せず、外乱にの

み応答するようにファブリ・ペロー共振器17を制御するものである。また、被検査材3の表面が光学鏡面に近い場合には、反射光PLを光ファイバ10を介さずに空間的にファブリ・ペロー共振器17に導く手段も適用可能である。

【0024】

【発明が解決しようとする課題】従来の技術によるレーザ超音波検査装置は、被検査材3との間に特に遮蔽物がなく、超音波の送受信を行うためのレーザビームの伝播が空間中で良好に行える場合には効果的である。

【0025】しかしながら、被検査材3には高温、高所、高放射線場、複雑形状部などのように接触が困難であったり、近接性が悪く遠隔非接触の検査手段が求められる部位もある一方で、それらがさらに狭隘部や遮蔽物の内側など、レーザビームを空間的に伝送することが難しい位置にある場合も多い。

【0026】また、それらの被検査材3の表面は不均一かつ反射特性も異なり、ファブリ・ペロー共振器17などの受信用光学系5で検出可能な光信号の信号／ノイズ比（以下、S／N比という）が悪いことも予想される。

【0027】さらに、実際の狭隘部の検査作業を想定した場合には、レーザ超音波検査装置の一部または全部をロボットなどを用いて検査部位まで搬送する必要がある。そして、現在レーザビームを用いた材料加工や材質改善工法が多数提案されているものの、それらの工法を適用する際には、き裂検査や材料評価を事前・事後に行うことが望ましい。

【0028】そこで本発明は上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、超音波の送受信を行うためのレーザビームを光ファイバと照射用光学系などの小型検査プローブを用いて伝送することで、遠隔非接触性を損なわずに狭隘部などの被検査材を効率的に検査することのできるレーザ超音波検査装置を提供することにある。

【0029】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、請求項1記載の発明は、被検査材に超音波を発生させるための第1のレーザ光を発振する第1のレーザ光源と、前記被検査材に発生した超音波信号を受信するために前記被検査材に照射される第2のレーザ光を発振する第2のレーザ光源と、前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分から前記超音波に関する情報を光学的に検知する受信用光学系と、この受信用光学系において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段と、この信号変換手段の出力信号を信号処理し、かつ前記超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理手段とを有するレーザ超音波検査装置において、前記第1のレーザ光源から発振したレーザ光を前記被検査材近傍まで伝送する少なくとも1本の光ファイバと、この光ファイバの前記被検査材側先端に設けら

れ前記第1のレーザ光を前記被検査材に所定の照射条件で照射する照射用光学系とを備えたことを特徴とする。

【0030】請求項2記載の発明は、被検査材に超音波を発生させるための第1のレーザ光を発振する第1のレーザ光源と、前記被検査材に発生した超音波信号を受信するために前記被検査材に照射される第2のレーザ光を発振する第2のレーザ光源と、前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分から前記超音波に関する情報を光学的に検知する受信用光学系と、この受信用光学系において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段と、この信号変換手段の出力信号を信号処理し、かつ前記超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理手段とを有するレーザ超音波検査装置において、前記第2のレーザ光源から発振したレーザ光を前記被検査材近傍まで伝送させ、かつ前記第2のレーザ光源によって照射されたレーザ光の前記被検査材表面における反射成分を前記受信用光学系まで伝送する少なくとも1本の光ファイバと、この光ファイバの前記被検査材側先端に設けられレーザ光の照射・集光を行うための照射・集光光学系とを備えたことを特徴とする。

【0031】請求項3記載の発明は、被検査材に超音波を発生させるための第1のレーザ光を発振する第1のレーザ光源と、前記被検査材に発生した超音波信号を受信するために前記被検査材に照射される第2のレーザ光を発振する第2のレーザ光源と、前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分から前記超音波に関する情報を光学的に検知する受信用光学系と、この受信用光学系において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段と、この信号変換手段の出力信号を信号処理し、かつ前記超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理手段とを有するレーザ超音波検査装置において、前記第1のレーザ光源から発振した第1のレーザ光を前記被検査材近傍まで伝送する少なくとも1本の第1の光ファイバと、この第1の光ファイバの前記被検査材側先端に設けられ前記第1のレーザ光を前記被検査材に所定の照射条件で照射するための照射用光学系と、前記第2のレーザ光源から発振した第2のレーザ光を前記被検査材近傍まで伝送し、かつ前記第2のレーザ光源によって照射された第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分を前記受信用光学系まで伝送する少なくとも1本の第2の光ファイバと、この第2の光ファイバの前記被検査材側先端に設けられ前記第2のレーザ光の照射・集光を行うための照射・集光光学系とを備えたことを特徴とする。

【0032】請求項4記載の発明は、被検査材に超音波を発生させるための第1のレーザ光を発振する第1のレーザ光源と、前記被検査材に発生した超音波信号を受信するために前記被検査材に照射される第2のレーザ光を発振する第2のレーザ光源と、前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分から前記超音波に関する

る情報を光学的に検知する受信用光学系と、この受信用光学系において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段と、この信号変換手段の出力信号を信号処理し、かつ前記超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理手段とを有するレーザ超音波検査装置において、前記第1のレーザ光と前記第2のレーザ光とを同一光軸上に重ね合わせる光合成・分岐手段と、前記第1および第2のレーザ光をそれぞれ入射する両用入射用光学系と、前記第1および第2のレーザ光を前記被検査材近傍までそれぞれ伝送し、かつ前記第2のレーザ光の前記被検査材表面における反射成分を前記受信用光学系まで伝送する両用光ファイバと、この両用光ファイバの前記被検査材側先端に設置され、前記第1および第2のレーザ光を前記被検査材に所定の照射条件で照射し、かつその反射成分を所定の集光条件で集光するための両用照射・集光光学系とを備えたことを特徴とする。

【0033】請求項5記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、被検査材に超音波を発生させる第1のレーザ光源が、パルス発振するNd:YAGレーザ光源であることを特徴とする。

【0034】請求項6記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、被検査材表面に照射され、超音波信号を受信するための第2のレーザ光源が、連続発振するNd:YAGレーザの第2高調波光源であることを特徴とする。

【0035】請求項7記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、光ファイバの入出射部に、その端面の反射による戻り光量を少なくする反射防止手段を設けたことを特徴とする。

【0036】請求項8記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、超音波に関する情報を光学的に検知するための受信用光学系がマイケルソン干渉計であり、前記受信用光学系に被検査材表面における反射成分を伝送するための光ファイバがシングルモード光ファイバであることを特徴とする。

【0037】請求項9記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、超音波に関する情報を光学的に検知するための受信用光学系がファブリー・ペロー光学計であり、このファブリー・ペロー光学計に被検査材表面における反射成分を伝送するための光ファイバがグレーテッドインデックス光ファイバ、ステップインデックス光ファイバのいずれかであることを特徴とする。

【0038】請求項10記載の発明は、請求項9記載のレーザ超音波検査装置において、ファブリー・ペロー光学計の共振器を制御する参照光が、被検査材表面における反射成分を伝送する光ファイバと同じコア口径を有する光ファイバを透過することを特徴とする。

【0039】請求項11記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載のレーザ超音波検査装置において、第1のレーザ光源から発振された第1のレーザ光を光ファイバに入射するための焦点分散型光学系を設けたことを特徴とする。

【0040】したがって、請求項1～11記載の発明によれば、超音波の送受信を行うためのレーザ光を光ファイバ、照射用光学系または照射・集光用光学系の小型検査プローブを用いて伝送することにより、遠隔非接触性を損なわず、狭隘部の被検査材を効率的に検査することができる。

【0041】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るレーザ超音波検査装置の実施形態を図面に基づいて説明する。なお、各実施形態および各変形例において従来の構成と同一または対応する部分には、図42～図46と同一の符号を用いて重複する説明は省略し、異なる構成のみを説明する。

【0042】〔第1実施形態〕図1は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第1実施形態を示すブロック構成図である。

【0043】本実施形態では、図1に示すように第1のレーザ光源としての超音波発生用のレーザ光源1から発振した第1のレーザ光ELによって励起された超音波を、参照光RLを用いて安定に制御したファブリー・ペロー共振器17に、被検査材3上の計測点からの反射光である反射光PLを、1/4波長板21、偏光ビームスプリッタ7d、ミラー22、1/2波長板6bを介してファブリー・ペロー共振器17に入射させることによって計測する動作以外は、図45に従来の光ファイバ10を用いない構成と同様である。

【0044】すなわち、本実施形態では、図45に示すレーザ超音波検査装置と同様に、被検査材3に超音波を発生させるためのレーザ光（第1のレーザ光）ELを発振する第1のレーザ光源としてのレーザ光源1と、この発生した超音波信号を受信するために被検査材3に照射されるレーザ光（第2のレーザ光）MLを発振する第2のレーザ光源としてのレーザ光源4と、第2のレーザ光MLの被検査材3表面における反射成分から、超音波に関する情報を光学的に検知するための受信用光学系5と、この受信用光学系5において受信された超音波信号を電気信号に変換する信号変換手段としての光検出器13と、この光検出器13の出力信号を適切に信号処理し、超音波の伝播に関する情報を表示および記録する信号処理装置SPとを備えている。

【0045】ところで、本実施形態は、レーザ光源1から発振したレーザ光ELが第1の入射用光学系としてのファイバ入射用光学系23に入射し、このファイバ入射用光学系23が光ファイバ（第1の光ファイバ）24の後端に取り付けられる一方、この光ファイバ24の先端

に照射用光学系としてのファイバ出射用光学系25が取り付けられている。

【0046】したがって、レーザ光源1から発振したレーザ光ELをファイバ入射用光学系23を介して光ファイバ24に入射し、この光ファイバ24を用いて被検査材3の近傍まで伝送するとともに、光ファイバ24の先端に設けられたファイバ出射用光学系25によって所定の照射形状で被検査材3表面に照射するようにしている。

【0047】次に、本実施形態の作用を説明する。

【0048】通常の場合、超音波励起に用いるレーザ光ELとしては、mJクラスあるいはそれ以上のパルスエネルギーを持つパルスレーザ光を用いるものの、これは誤って人体などに照射されると有害なレベルであるため、長距離に亘って空間的に伝播させるためには光路遮蔽手段を設けるなど、安全上の配慮が必要である。

【0049】したがって、図1に示すようにレーザ光ELをファイバ入射用光学系23を介して光ファイバ24に入射し、この光ファイバ24を用いて被検査材3の近傍まで伝送するとともに、ファイバ出射用光学系25によって所定の照射形状で被検査材3表面に照射することにより、レーザ光源1からファイバ入射用光学系23までと、ファイバ出射用光学系25から被検査材3までのごく短距離のみの光路遮蔽で十分となり、光路遮蔽手段の設置に関するコストを低減させることができる一方、遠隔非接触性を損なわず、狭隘部などに設置された被検査材3を効率的に検査することができる。

【0050】〔第1実施形態の変形例〕図2は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第1実施形態の変形例を示すブロック構成図、図3は図2の構成による効果を示す説明図である。

【0051】本変形例は、図2に示すようにレーザ光ELを複数の光分岐器26a、26b、…26nで所定数のビームに分岐し、そのビームの各々を複数のファイバ入射用光学系23a、23b、…23nを介して複数の光ファイバ24a、24b、…24nに入射・伝送し、複数のファイバ出射用光学系25a、25b、…25nで被検査材3表面の複数点に照射するものである。

【0052】レーザ光照射による超音波の励起に関しては、その照射形状に依存して発生する超音波の指向性、周波数などが制御可能なことが公知になっている〔例えば、C. B. Scruby and L. E. Drain, "Laser Ultrasonics: Techniques and Applications" (Bristol: Adam Hilger) 1990年など参照〕。

【0053】通常の場合、このようなスポット形状の成形はレンズ系を用いて行うが、例えば図2に示した構成を用いて、図3の点27a、27b、…27nのように照射スポットをライン状に並べると、各々の点を中心と

した円上の音波が被検査材3表面で位相整合し、図中、D1、D2の方位に強められ、その垂直方位にはほとんど伝播しない表面波を形成することができる。

【0054】このように本変形例によれば、前記第1実施形態と同様の効果が得られる。

【0055】〔第2実施形態〕図4は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第2実施形態を示すブロック構成図である。

【0056】本実施形態では、図4に示すようにレーザ光ELによって励起された超音波を、参照光RLを用いて安定に制御したファブリ・ペロー共振器17に、被検査材3上の計測点からの反射光である計測光PLを、1/4波長板21、偏光ビームスプリッタ7d、ミラー22、1/2波長板6bを介してファブリ・ペロー共振器17に入射することによって計測するようにしている。

【0057】本実施形態では、第2のレーザ光である計測光MLを第2の光ファイバとしての光ファイバ29に入射するための第2の入射用光学系としてのファイバ入射用光学系28と、計測光MLを被検査材3近傍まで伝送し、かつ計測光MLの被検査材3表面における反射成分を受信用光学系5まで伝送する光ファイバ29と、この光ファイバ29の被検査材3側先端に、計測光MLを被検査材3に所定の照射条件で照射し、かつその反射成分を所定の集光条件で集光するための照射・集光用光学系としてのファイバ出射用光学系30とを備えている。

【0058】すなわち、光ファイバ29の後端には、ファイバ入射用光学系28が取り付けられる一方、その先端にはファイバ出射用光学系30が取り付けられている。

【0059】なお、上記以外の構成および動作は、図45に示す従来例と同様であるのでその説明を省略する。

【0060】したがって、本実施形態では、被検査材3からの反射光PLだけでなく、ファイバ入射用光学系28、光ファイバ29、ファイバ出射用光学系30を用いて計測光MLの伝送も光ファイバを用いることにある。この時、被検査材3からの反射光PLは同じ経路を伝播してファブリ・ペロー共振器17まで導かれる。

【0061】このように構成すれば、比較的高エネルギーのレーザ光ELの近傍に小さなファイバ出射用光学系30を設置するだけで、超音波の受信を行うことが可能となり、レーザ溶接装置、レーザ切断装置、レーザ加工装置、レーザ材質改善装置など、既存のパルスレーザシステムと併用することで、同時に超音波検査を行うこともできる。

【0062】〔第2実施形態の第1変形例〕図5は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第2実施形態の第1変形例を示すブロック構成図、図6は図5の構成による効果を示す説明図である。

【0063】第1変形例は、図5に示すように計測ビームMLおよび反射光PLの伝送を行うためのファイバ入

射用光学系 28、光ファイバ 29 およびファイバ出射用光学系 30 から構成される伝送系を 2 系統としたものである。すなわち、第 1 変形例の伝送系は、ファイバ入射用光学系 28 a、28 b、光ファイバ 29 a、29 b、ファイバ出射用光学系 30 a、30 b のように 2 系統に構成されている。

【0064】この際、ファイバ入射用光学系 28 a、28 b の前段には、複数のファイバ端面の像をファブリ・ペロー共振器 17 に転送するための結像光学系 31 が設置される一方、光検出器 13 a、13 b の前段には転送された像を各々光検出面に像転送する結像光学系 32 が設置されている。これにより、各々の伝送系を伝播したビームを個別に検出することが可能となり、1 つのファブリ・ペロー共振器 17 を用いて複数点の計測を行うことができる。

【0065】なお、図 5 では伝送系を 2 本用いる構成を説明したが、本変形例に基づき、より多数の伝送系を用いた構成も可能である。特開平 10-351440 号公報に開示された発明では、図 6 に示すように、レーザ光 EL で送信した超音波 US を複数本（図では 2 本）の計測ビーム PL1、PL2 で検出し、き裂 33 を透過する超音波成分 UT と反射される成分 UR を共に計測することで、き裂 33 の検出性能を向上させる手段が提案されている。この手法を実現するためには計測ビームを空間伝播させて計測点に導く構成も考えられるが、図 5 に示すような光ファイバを用いれば、よりフレキシブルな計測点の設定が可能となり、き裂 33 の検知性能を一層向上させることが可能となる。

【0066】〔第 2 実施形態の第 2 変形例〕図 7 は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 2 実施形態の第 2 変形例を示すブロック構成図である。

【0067】第 2 変形例の構成および基本的な動作は図 5 に示す第 2 実施形態と同様であるが、この第 2 変形例では、図 7 に示すように伝送系にファイババンドル 34 を用いることにより、複数点受信というよりは、むしろ分布計測を可能としたものである。

【0068】ファイバ出射用光学系 35 によって被検査材 3 に照射されたレーザビームは、被検査材 3 表面の各点で反射されるものの、その位置関係はファイババンドル 34 によって保存される。その空間的な情報、すなわちファイババンドル 34 端面の像は結像光学系 31 によってファブリ・ペロー共振器 17 に像転送される。このファブリ・ペロー共振器 17 の出射光を結像光学系 32 を経て 2 次元アレイ型光検出器 36 の検出面に像転送すれば、被検査材 3 表面各点の情報が 2 次元アレイ型光検出器 36 の各エレメントで検出されることになり、超音波の伝播を空間的に可視化することができる。

【0069】この場合、2 次元アレイ型光検出器 36 としては、通常の CCD センサの他、イメージインテンシファイアー付き CCD センサなどが使用可能である。

【0070】なお、第 2 実施形態および各変形例は、伝送系として光ファイバ 29 あるいはファイババンドル 34 を用いた構成としたが、これ以外に結像レンズなどの光学系を用いた空間伝送でも同様の作用および効果が得られる。

【0071】〔第 3 実施形態〕図 8 は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 3 実施形態を示すブロック構成図である。

【0072】本実施形態は、前記第 1 実施形態のレーザ光 EL を伝送する伝送系と、前記第 2 実施形態の計測光 ML および反射光 PL を伝送する伝送系とを併用したものである。

【0073】すなわち、本実施形態は、図 8 に示すようにレーザ光 EL を 1 本または複数本の光ファイバ 24 に入射するためのファイバ入射用光学系 23 と、それに対応しレーザ光 EL を被検査材 3 近傍まで伝送する 1 本または複数本の光ファイバ 24 と、1 本または複数本の光ファイバ 24 の被検査材 3 側先端にレーザ光 EL を被検査材 3 に所定の照射条件で照射するためのファイバ出射用光学系 25 と、レーザ光 ML を 1 本または複数本の光ファイバ 29 に入射するためのファイバ入射用光学系 28 と、レーザ光 ML を被検査材 3 近傍まで伝送し、かつレーザ光 ML の被検査材 3 表面における反射成分をファイバ出射用光学系 30 まで伝送する 1 本または複数本の光ファイバ 29 と、この光ファイバ 29 の被検査材 3 側先端にレーザ光 ML を被検査材 3 に所定の照射条件で照射し、かつその反射成分を所定の集光条件で集光する照射・集光用光学系としてのファイバ出射用光学系 30 とを備えている。

【0074】このように構成したことにより、ファイバ出射用光学系 25 および 30 のみを被検査材 3 近傍に設置すれば、検査を行うことが可能となり、被検査材 3 が狭隙部などにある場合にもレーザ光を空間的に伝送することなく、レーザ超音波検査を行うことができる。

【0075】〔第 4 実施形態〕図 9 は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 4 実施形態を示すブロック構成図である。

【0076】本実施形態は、前記第 1 実施形態のレーザ光 EL を伝送する伝送系と、前記第 2 実施形態の計測光 ML および反射光 PL を伝送する伝送系とを併用し、かつそれらの伝送系を同一にしたものである。

【0077】すなわち、本実施形態は、図 9 に示すようにレーザ光 EL をミラーなどの光学系 37 により光路調整し、このレーザ光 EL を光合成・分岐手段としての光分岐器 38 により計測光 ML と同軸に重ねあわせた後、両用入射用光学系としてのファイバ入射用光学系 39、両用光ファイバとしての光ファイバ 40、両用照射・集光光学系としてのファイバ出射用光学系 41 で被検査材 3 まで伝送するものである。

【0078】このように構成した場合、被検査材 3 から

の反射光 PL は、同一経路を経てファブリ・ペロー共振器 FP に導かれるが、この際、同時にレーザ光 EL の反射成分もファブリ・ペロー共振器 17 および光検出器 13 に迷光として入射し、ノイズとなる。この場合には、レーザ光源 1 とレーザ光源 4 に異なる波長のレーザ光源を用いるとともに、光検出器 13 の前段にレーザ光源 4 の発振波長のみを透過する狭帯域光フィルタ 42 を設置するなどしてレーザ光 EL の反射成分が光検出器 13 に入射するのを防止する必要がある。

【0079】なお、前記第 1 ～ 第 4 実施形態のレーザ超音波検査装置において、レーザ光源 1 には、超音波を励起するのに十分なパルスエネルギーを有するレーザ光を発振可能な基本波 Nd : YAG レーザ光源が用いられる。

【0080】また、前記第 1 ～ 第 4 実施形態のレーザ超音波検査装置において、レーザ光源 4 としては、超音波を受信するのに十分な可干渉性、狭帯域性を有するレーザ光を発振可能であり、かつ Nd : YAG レーザの基本波と波長の異なる第 2 高調波 Nd : YAG レーザ光源が用いられる。

【0081】〔第 5 実施形態〕図 10 (A), (B) は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 5 実施形態を示す説明図である。

【0082】本実施形態は、前記第 1 ～ 第 4 実施形態のレーザ超音波検査装置において、光ファイバ 24, 29, 40 とファイバ入射光学系 23, 28, 39 あるいは光ファイバ 24, 29, 40 と照射・集光光学系であるファイバ出射光学系 25, 30, 41 のすくなくとも一方の光ファイバの入出射部に、その端面の反射による戻り光量を小さくするための反射防止手段を設けたものである。

【0083】すなわち、本実施形態は、光ファイバ 24, 29, 40 の両端部に、例えば図 10 (B) に示すような反射防止機能を有することが特徴である。通常の光ファイバは図 10 (A) に示すようなコア Cr およびクラッド Cl からなる構造を有しており、ここに計測光 ML を入射すると、被検査材 3 からの反射光 PL に、入射部の端面反射 Lt、出射部の端面反射 Lx が混入し、同一光軸を伝播して光検出器 13 で検出され、反射光 RL 計測上のノイズとなるとともに、入射光路を戻ってレーザ光源 1 あるいは 4 に再入射し、光源の安定度を劣化させるなどの悪影響を及ぼす。

【0084】そこで、図 10 (B) に示すように、ファイバ両端を適切な角度で傾斜加工しておけば、端面反射 Lt や端面反射 Lx の迷光が反射光 PL あるいは計測光 ML と同一光軸に重なることがなく、良好な計測を実現することができる。したがって、本実施形態によれば、ファイバ入射面からの反射による影響を抑えることが可能となる。

【0085】〔第 5 実施形態の変形例〕図 11 は本発明

に係るレーザ超音波検査装置の第 5 実施形態の変形例を示す説明図である。

【0086】本変形例は、前記第 1 ～ 第 4 実施形態のレーザ超音波検査装置において、図 11 に示すようにファイバ入出射端面に無反射コート付き窓部 43a, 43b がそれぞれ形成された容器 44a, 44b を設置し、この容器 44a, 44b 内をそれぞれファイバのコア Cr の屈折率に近い媒質 45a, 45b で満たすことで、入射部の端面反射 Lt および出射部の端面反射 Lx を相当量減じることができる。

【0087】なお、ファイバの入出射端面に無反射コートを施したファイバを用いることも本実施形態の範囲に含まれる。さらに、光ファイバ 23, 29 をコネクタなどを用いて途中で接続する場合にも、その端面に上記と同様の処理を施すことで同様の効果を得ることができる。

【0088】〔第 6 実施形態〕図 12 は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 6 実施形態を示すブロック構成図である。

【0089】本実施形態では、前記第 1 ～ 第 4 実施形態のレーザ超音波検査装置において、図 12 に示すように受信光学系 5 として超音波の誘起する表面変位を計測するマイケルソン干渉計を用いたものである。ここで、マイケルソン干渉計は、特にその干渉光の可干渉性が問題になるため、光ファイバ 29 としてはシングルモード光ファイバを使用するのが効率的である。

【0090】なお、図 12 における受信光学系 5 には、1/4 波長板 21a, 21b が設置されるとともに、偏向ビームスプリッタ 7e, 7f が設置されている。

【0091】一方、図 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9 に示したレーザ超音波検査装置は、受信光学系 5 としてファブリ・ペロー共振器 17 を用いた構成を示している。ここで、各実施形態において用いる光ファイバの種類は限定していないが、ファブリ・ペロー共振器 17 を用いる場合には光ファイバ 29 としてはステップインデックス光ファイバ、グレーテッドインデックス光ファイバなどマルチモード光ファイバを用いた方が効率的である。

【0092】〔第 7 実施形態〕図 13 は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 7 実施形態の受信光学系を示すブロック構成図である。また、図 13 は受信光学系 5 であるファブリ・ペロー共振器 17 の部分のみを抽出して示したものである。

【0093】本実施形態では、図 13 に示すように参照光 RL の光路に、計測光 ML の光路と同じようにファイバ入射用光学系 28b、光ファイバ 29b、ファイバ出射用光学系 30b が設置されている。すなわち、ファブリ・ペロー共振器 17 を制御する参照光 RL が、第 2 の光ファイバ 29 と同じコア口径を有する第 3 の光ファイバ 29b を透過するように構成されている。

【0094】これにより、ファブリ・ペロー共振器 17 を制御する参照光のビーム口径やモードなどの光学特性が実際に計測する反射光 RL に一段と近くなり、高感度でかつ調整が容易な受信光学系 5 を提供することが可能となる。

【0095】〔第 8 実施形態〕図 14 は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 8 実施形態のファイバ入射用光学系を示す構成図である。

【0096】本実施形態は、図 14 に示すようにレーザ光源 1 から発振されたレーザ光を光ファイバ 24 に入射するための焦点分散型光学系を有している。すなわち、この焦点分散型光学系は、レーザ光 EL を拡大する凹レンズ 46 と、レーザ光 EL のビーム断面中の各点を通過するビームが空間的に異なる位置に集光されるよう光路調整するマイクロレンズアレイ 47 と、レンズ 48 とから構成されている。

【0097】上記の構成において、レーザ光源 1 から発振されたレーザ光 EL は、一旦凹レンズ 46 で拡大され、その後マイクロレンズアレイ 47 でビーム断面中の各点を通過するビームが空間的に異なる位置に集光されるよう光路調整され、その後レンズ 48 で光ファイバ 24 に入射するようにしている。

【0098】ここで、レーザ光 EL は、比較的高いパルスエネルギーを有するため単純に空間的に 1 点に集光すると、その点にブレイクダウンを生じ、光ファイバ 24 などを破損する可能性がある。

【0099】したがって、図 14 に示すような構成にすれば、レーザ光 EL は 1 点に焦点を持たないためエネルギーの集中もなく、光ファイバ 24 を破損させることなく、より高いエネルギーのレーザ光 EL を光ファイバ 24 に伝送することが可能となる。

【0100】以上説明したように、第 1 ～ 第 8 実施形態によれば、超音波の送受信を行うためのレーザ光を光ファイバ、照射用光学系または照射・集光用光学系の小型検査プローブを用いて伝送することにより、遠隔非接触性を損なわず、狭隙部の被検査材 3 を効率的に検査することができる。

【0101】〔第 9 実施形態〕図 15 は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 9 実施形態を示すブロック構成図である。

【0102】レーザ照射による超音波励起法では、前述した通り縦波、横波、表面波などが同時に発生する。これらの超音波モードのうち、例えば被検査材 3 の内部を伝播する縦波、横波などは被検査材 3 内部の欠陥や材料特性、あるいは板厚を計測するのに適しており、また表面を伝播する表面波は表面き裂や表面性状あるいは表面に付着した膜の性質などを計測するのに適している。

【0103】ここで、それら超音波モードは、被検査材 3 の材質で決まる固有の音速を有する。例えば、被検査材 3 が鉄鋼の場合、表面波音速は約 2,900 m/s

c、縦波音速は約 6,000 m/s、横波音速は約 3,240 m/s である。

【0104】したがって、本実施形態は、図 15 に示すようにあらかじめ観察したい空間的な領域（音源からの距離： $d_b \sim d_e$ ）と既知の音速 v とから

【数 1】

$$t_b = d_b / v$$

$$t_e = d_e / v$$

の時間間隔を有する時間ゲート 49 を信号処理装置 14 に設けておけば、他のモードに干渉されることなく所望の信号を観察することが可能となる。

【0105】このように本実施形態では、信号処理手段 14 において、発生した超音波のうち被検査材 3 の表面を伝播する表面波成分、内部に伝播する縦波成分または横波成分を抽出し、その情報から被検査材 3 表面、内部および裏面におけるき裂の有無、き裂の寸法および表面波、被検査材の厚さ、裏面状態および縦波または横波の伝播現象を表示および記録するようにしたものである。

【0106】〔第 10 実施形態〕図 16 は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第 10 実施形態を示すブロック構成図、図 17 は第 10 実施形態においてウェーブレット変換を用いた信号処理を示す説明図である。

【0107】受信光学系 5 と光検出器 13 で検出された超音波信号は、場合によって、例えば外乱ノイズであるとか、あるいは光検出器 13 や信号処理装置 14 で発生するノイズなどで S/N 比が良好に得られない場合がある。

【0108】その際、本実施形態のように信号処理装置 14 内に S/N 比改善手段 50 を設置しておくことで、良好な信号観察が可能となる。S/N 比改善手段 50 としては、例えば信号がある周波数帯域をもって混入することが分かっている場合、その帯域を除去するローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、あるいはバンドエリミネータフィルタを用いればよいし、逆に信号成分の周波数帯域があらかじめ分かっていたり、あるいはある周波数帯域の信号成分のみに着目したい場合には、その帯域のみを通過させるバンドパスフィルタを用いるようにしてもよい。

【0109】また、支配的なノイズが雑音のようにランダムな周波数成分を有する場合には、信号を複数回加算平均する平均化処理機能を有したものでよい。この場合、レーザによる超音波の送受信間隔が常に同じであるならば、レーザ光源 1 の発信タイミングを基準時刻（トリガー）として平均化処理を行うと、タイミング制御上好都合であるが、装置の設置や送受信点の走査などの問題で送受信間隔が時刻に応じて変化する場合には、超音波信号をデジタル化して蓄積しておき、ほぼ同距離とみなし得るデータのみをその中から選択して加算平均するのでもよい。

【0110】さらに、観察すべき超音波信号が、超音波エコー信号などのようにほぼ相似形とみなしうる波形を有する繰り返し信号の場合には、その信号の自己相関あるいはあらかじめ準備したリファレンスとなる信号との相互相関を演算することでもS/N比を改善することができる。

【0111】また、検出された超音波信号に含まれる周波数成分が重要な場合には、図17に示すようなウェーブレット変換を用いて信号処理することで、特定の現象を感度よく検知することも可能である。なお、これらの処理は、光検出器13の出力信号をアナログ電気信号として処理する場合だけでなく、信号処理手段14内にアナログ-デジタル変換器を設置し、デジタル信号として処理する場合も含まれる。

【0112】このように本実施形態では、信号処理装置14において、受信した超音波信号に、適切な帯域で信号フィルタ処理、複数回の信号平均化処理、適切な領域の相関処理、または適切な帯域のウェーブレット変換処理を行うようにしたものである。

【0113】〔第11実施形態〕図18は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第11実施形態を示すブロック構成図である。

【0114】本実施形態は、図18に示すようにレーザ光ELおよび計測光MLをそれぞれ光ファイバ24、29でファイバ出射用光学系25および30に伝送し、各々のファイバ出射用光学系25および30を個別の駆動機構51aおよび51bに搭載し、これら駆動機構51aおよび51bを、あらかじめ敷設したレール52上で走査・駆動可能に構成することで、被検査材3上の1点または複数点の検査を自動的に行うものである。これら駆動機構51a、51bおよびレール52により走査手段が構成されている。

【0115】したがって、本実施形態では、出射用光学系25および30を個別にあるいは同時に走査するための走査手段を有し、かつ信号処理装置14において、受信された超音波情報を前記走査手段による走査位置と関連付けて多次元表示するようにしている。

【0116】被検査材3が狹隘部や高所にある場合、あるいは被検査材3自体が高温や高放射能などのように検査員が接近しにくい場合はもとより、例えば機器の定期検査など、同じ個所を定期的に検査する場合にもあらかじめ設置しておいたレール52によって所定の位置の検査を短時間で行うことができる効果がある。

【0117】さらに、駆動機構51a、51bに位置検出機構を取り付けておけば、検査記録と検査位置を定量的に対応付けることも可能となる。

【0118】なお、本実施形態では、ファイバ出射用光学系25および30を、個別の駆動機構51aおよび51bに搭載した例を示したが、それらを1つの駆動機構上に設置すれば、超音波の送受信間隔を常に一定に保持

することが可能となる。

【0119】〔第12実施形態〕図19(A)、(B)は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第12実施形態の表示例を示す説明図である。

【0120】なお、図19(A)、(B)は、例えば図18に示したような送受信位置を走査可能なレーザ超音波検査装置によって計測されたデータの表示例である。

【0121】今、図19(B)に模式的に示したような裏面に減肉部Gを有する被検査材3に対し、2点鎖線で示した経路で送受信点を走査させたとする。すると、減肉部Gは他の部分よりも薄いため、例えば縦波や横波など内部を伝播する超音波USの伝播時間が異なってくる。そこで、走査中に得られた超音波信号にあらかじめ予想される伝播時間付近(上述の $t_b \sim t_e$)で時間ゲートを設置し、走査に従って各位置(y)における計測データを図19(A)に示すように表示すれば、図中に太点線で示したように被検査材3の裏面形状を計測することができる。

【0122】さらに、被検査材3中の音速が既知であれば、その形状を定量的に検知することも可能である。

【0123】図20(A)、(B)は走査を2次元的に行った場合の表示例であり、これは1次元的には図19(A)のように得られた超音波信号において、そのピークとなる時刻を、2次元的に走査した位置と関連付けて、被検査材3が厚い、すなわちピーク時刻が遅い場合を濃く、早い場合に淡くなるように色(濃淡)で表示したものである。また、図21(A)、(B)は同じ計測結果を3次元的に示した場合の表示例であり、本装置によって被検査材3の裏面形状を可視化できることが分かる。

【0124】一方、図22(A)、(B)は表面波に着目した場合の一例である。図22(B)に示すように被検査材3上にき裂F1、F2、F3が存在する場合、図中の2点鎖線で示した経路で方位(y)に指向性を有する表面波を送受信すると、き裂Fがある場合には、そのき裂Fで表面波が反射し、き裂エコーが観察される。

【0125】そこで、検査領域に相当する時間ゲートを設け、その時間領域における超音波信号レベルを濃淡あるいは色で表示すれば、図22(A)に示すように表面き裂を可視化することができる。

【0126】このように本実施形態では、信号処理装置SPの表示装置15において、受信された超音波信号の強度情報、計測されたき裂寸法情報、あるいは計測された超音波伝播情報を送受信位置と関連付けて線、濃淡あるいは色で多次元的に表示するものである。

【0127】以上説明したように、第9～第12実施形態によれば、受信された超音波信号に適切な電氣的信号処理を加えたり、あるいは被検査材の周辺雰囲気あるいは表面状態を整えることにより、S/N比を改善して評価精度を高めるとともに、検知された情報を検査員が容

易に理解できるように提示することが可能となる。

【0128】〔第13実施形態〕図23は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第13実施形態を示す構成図である。

【0129】本実施形態では、図23に示すようにレーザ光源1、受信用光学系5、光検出器13および信号処理装置14が搬送手段としての無軌道走行台車53に、レーザ光EL用のファイバ出射用光学系25および計測光ML用のファイバ出射用光学系30が無軌道走行台車53上に取り付けられた検査アーム54に、それぞれ設置されている。また、無軌道走行台車53には、検査位置を確認するための位置検出装置55が、検査アーム54には検査作業を監視するための監視手段としての監視用TVカメラ56がそれぞれ設置されている。

【0130】また、レーザ光源1、受信用光学系5、光検出器13および信号処理装置14上には、通信装置57aが設置される一方、制御手段としての遠隔の駆動・制御装置58上に通信装置57bが設置されている。

【0131】したがって、レーザ光源1、受信用光学系5および光検出器13により計測された超音波データは、信号処理装置14で処理された後、位置データ、画像データとともに通信装置57a、57bを経て遠隔の駆動・制御装置58に無線伝送される。この駆動・制御装置58で受信した計測データ、位置データおよび画像データは、各々関連付けられて表示装置15に表示されるとともに、評価装置16に記録される。

【0132】なお、評価装置16に予め被検査材3およびその周辺機器の設計図面あるいはCADデータなどを記録させておき、検査位置データや画像データをもとに対応する機器や部位の設計情報、形状などを表示装置15に同時に表示することで、より効率的かつ高度な検査を行うことができる。

【0133】また、駆動・制御装置58は、無軌道走行台車53および検査アーム54を遠隔から駆動・制御可能な構成となっている。このような構成によれば、被検査材3が運転中の機器であったり、高温や高放射能環境など検査員が接近しにくい場合でもレーザ超音波検査装置による検査が可能となる。

【0134】なお、監視手段としては上記監視TVカメラ56や距離センサの他、溶接金属を検知するフェライト検知機、あるいは複視差を適用した3次元TVカメラなども使用可能である。

【0135】〔第13実施形態の第1変形例〕図24は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第13実施形態の第1変形例を示す構成図である。

【0136】図23に示す実施形態は、無線式、無軌道走行台車にレーザ超音波検査装置を搭載した例であるが、図24に示す第1変形例は軌道付きの場合である。

【0137】この第1変形例では、図24に示すように軌道59があらかじめ固定して設置され、この軌道59

上を走行する搬送手段としてのモノレール式走行台車60にファイバ出射用光学系39が搭載されている。この場合、モノレール式走行台車60が十分なスペースを有していればレーザ光源1、受信用光学系5、光検出器13および信号処理装置14などをモノレール式走行台車60上に搭載することも可能であるが、多くの場合そのスペースがない上、軌道59を用いて光ファイバ40を取り廻せるので、それらは駆動・制御装置58などとともに遠隔の基地局に設置し、ヘッド部のみを搭載するのが簡便である。

【0138】また、上記第13実施形態と同様、モノレール式走行台車60に監視カメラ、距離センサ、位置センサなどを搭載しておけば、より確実な検査を施工することができる。

【0139】〔第13実施形態の第2変形例〕図25は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第13実施形態の第2変形例を示す構成図である。

【0140】第2変形例は、前記第1変形例において、図25に示すように軌道として可搬型レール61を用い、この可搬型レール61上を走行する搬送手段としての走行台車62を設けたものである。この走行台車62に光軸と平行方向へ微動可能な微動機構を設けておくことで、レーザ光ELや計測光MLの焦点を微調整することもできる。

【0141】このような構成にすることで、被検査材3が高所に多数本設置された配管である場合など、検査しにくい部位である場合にも効率的に検査することが可能となる。

【0142】なお、第13実施形態およびその各変形例において、無軌道走行台車53などの搬送手段上に設置された搬送手段位置検出手段と、第1および第2のレーザ光であるレーザ光ELおよび計測光MLの照射位置を検出する照射位置同定手段と、これらの情報から被検査材3および被検査材3上の検査位置を検出する検査位置同定手段とを設けるようにしてもよい。

【0143】また、第13実施形態およびその各変形例において、信号処理装置14に被検査材3の寸法および形状に関する多次元情報データベースを設け、信号処理装置SPの表示部15に、上記検査位置同定手段の出力情報と上記多次元情報データベースの該当する部位の情報を対応させて表示するようにしてもよい。

【0144】〔第14実施形態〕図26は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第14実施形態を示す構成図である。

【0145】第14実施形態は、被検査材3が特に原子炉63あるいは原子炉内構造物64の場合であり、周辺雰囲気としては気中あるいは水中が考えられる。超音波を送信可能なレーザ光ELの伝送は「Y u j i S a n o et. al. "Process and application of shock compres

sion by nano-second pulse
s of frequency-doubled N
d: YAG laser," Proc. of ALP
HA'99 SPIE, Osaka, Novemb
er 1999年」で述べられているような炉内へのパ
ルス光伝送装置65が既知である。

【0146】本実施形態では、原子炉63上に備えた光
学機器室66中にレーザ光源1、受信用5、光検出器1
3、信号処理装置14などを設置し、そこから光ファイ
バ29を搬送手段としての炉内用遠隔操作機構の一例で
あるパルス光伝送装置65に沿わせて設置することで、
計測光MLを検査位置まで導き、パルス光伝送装置65
の先端部に設置したファイバ出射用光学系30で計測光
MLを送受信することで、被検査材としての原子炉63
あるいは炉内構造物64を検査する装置である。

【0147】〔第14実施形態の第1変形例〕図27は
本発明に係るレーザ超音波検査装置の第14実施形態の
第1変形例を示す構成図である。

【0148】本変形例は、図27に示すように前記第1
4実施形態のようなパルス光伝送装置67を用いること
なく、レーザ光ELの伝送も光ファイバで行う場合に
は、原子炉63あるいは炉内構造物64に沿って移動す
る搬送手段としての炉内用遠隔操作機構の一例である炉
内検査ロボット67にファイバ出射用光学系25、30
を設置し、これらファイバ出射用光学系25、30にレ
ーザ光ELおよび計測光MLを光ファイバ24、29に
より伝送するものである。

【0149】このレーザ超音波検査装置を適用すること
で、原子炉63内など過酷な条件下で、しかも狭隘部の
検査を効率的に行うことが可能となる。なお、この場
合、材料の耐放射線性を配慮して、レンズや光ファイバ
など光学部品の材質には石英を、構造物にはステンレス
鋼やアルミニウムを用いるのが望ましい。

【0150】〔第14実施形態の第2変形例〕図28は
本発明に係るレーザ超音波検査装置の第14実施形態の
第2変形例を示す構成図である。

【0151】本変形例は、図28に示すように被検査材
が配管68であり、この配管68の内側を移動、走査、
固定停止可能な搬送手段としての配管内面走行機構の一
例である移動ロボット69にファイバ出射用光学系41
を設置し、光ファイバ40を用いてレーザ光ELの送信
および計測光MLの送受信を行うことで、長手配管の内
面を効率的に検査可能としたものである。

【0152】〔第15実施形態〕図29(A)、(B)
は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第15実施形態
を示す構成図である。

【0153】本実施形態は、図29(A)、(B)に示
すように被検査材が配管68であり、その配管68外面
に軌道70を敷設し、この軌道70上に走行台車71を
走行可能に設置し、この走行台車71にレーザ光源1お

よびファイバ出射用光学系30a、30bを搭載したも
のである。なお、軌道70には、図示しない軸方向移動
機構を備えている。そして、軌道70および走行台車7
1は、搬送手段としての配管外面走行機構を構成する。

【0154】上記の構成において、レーザ光源1から発
振したレーザ光ELは、レンズ2、照射用ミラー72
a、72bを備えた導波管73で伝送され、配管68表
面に照射される一方、図示しないレーザ光源4から発振
した計測光MLは、図5に示したような構成に基づいて
2本の光ファイバ29a、29bで伝送され、ファイバ
出射用光学系30a、30bで配管68表面に照射され
る。

【0155】ここで、ファイバ出射用光学系30a、3
0bを配管68に対向するように設置すれば、例えばフ
ァイバ出射用光学系30aで照射した計測光MLの反射
光PLを同じファイバ出射用光学系30aで集光し、受
信用光学系5で検知することになる。一方、図29

(A)に示すように、ある適切な角度をもって2つのフ
ァイバ出射用光学系30a、30bを配置すれば、ファ
イバ出射用光学系30aから配管64に斜めに照射され
た計測光MLの正反射成分をファイバ出射用光学系30
bが集光し、またその逆を行うなど、照射と集光を各々
異なるファイバ出射用光学系で行うことも可能である。
このように構成したことにより、長手配管の検査を自動
的かつ効率的に行うことが可能となる。

【0156】〔第16実施形態〕図30は本発明に係る
レーザ超音波検査装置の第16実施形態を示す斜視図で
ある。

【0157】本実施形態は、図30に示すように図示し
ない被検査材が水中に存在する場合であり、搬送手段と
しての水中遊泳機構の一例である水中遊泳ロボット74
によってファイバ出射用光学系25および30を検査位
置近傍まで搬送して検査を行うものである。この水中遊
泳ロボット74には、監視TVカメラ56が設置され、
この監視TVカメラ56により水中での検査作業を監視
可能な構成となっている。

【0158】また、ファイバ出射用光学系25および3
0は、駆動モータ75により微動可能であり、大まかな
位置決めを水中遊泳ロボット74が行った後、駆動モー
タ75を駆動させることで、ファイバ出射用光学系25
および30を詳細な検査位置に位置決めをすることがで
きる。

【0159】さらに、水中の流れが速い場合に対応する
ため本実施形態では、周辺の構造部材76に固定機構7
7を用いて水中遊泳ロボット74を固定させることで、
定点検査を行うこともできる。そして、例えばき裂など
を検知し、それを継続的に評価・監視する場合には、レ
ーザ光ELによって検知されたき裂近傍にマークし、そ
の位置を監視TVカメラ56で検出することで、毎回の
検査において常に同じき裂を計測することができる。

【0160】〔第17実施形態〕図31は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第17実施形態を示すブロック構成図である。

【0161】本実施形態は、図31に示すように予め被検査材3上の決められた検査位置近傍にファイバ出射用光学系25および30を複数個設置しておき、使用するファイバ出射用光学系を切り替えることで、1式のレーザ超音波検査装置で複数箇所を検査することができるようにしたものである。

【0162】そのため、被検査材3（図示したように、複数の検査位置は1つの被検査材3に設定される場合には限定されない）側には、ファイバ出射用光学系25 a, 25 b, 25 c…および30 a, 30 b, 30 c…と、各々それらに接続された光ファイバ24 a, 24 b, 24 c…および29 a, 29 b, 29 c…を設置し、これらの光ファイバの他端には光ファイバコネクタ78 a, 78 b, 78 c…および79 a, 79 b, 79 c…を設置しておく。当然、それらは図示しない適当な固定治具で被検査材3あるいはその他の周辺部材に焦点などの照射集光条件が変化しないように固定されているもよい。

【0163】一方、レーザ光ELを伝送する光ファイバ24には、着脱部材としての光ファイバコネクタ78を、計測光MLを伝送する光ファイバ29には着脱部材としての光ファイバコネクタ79をそれぞれ設置しておく。

【0164】このように構成したことにより、光ファイバコネクタ78, 79をそれぞれ光ファイバコネクタ78 a, 78 b, 78 c…および79 a, 79 b, 79 c…に対する接続対象を適宜切り替えれば、複数点を1つの装置で検査することが可能なレーザ超音波検査装置を実現することが可能となる。

【0165】〔第18実施形態〕図32は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第18実施形態を示すブロック構成図である。

【0166】本実施形態は、図32に示すように前記第17実施形態の構成に加え、被検査材3が保温材80で遮蔽された配管、容器、機器、構造物が対象であり、ファイバ出射用光学系25 a, 25 b, 25 c…および30 a, 30 b, 30 c…が被検査材3と保温材80との内側に設置されている。それらに接続された光ファイバ24 a, 24 b, 24 c…および29 a, 29 b, 29 c…は保温材80を貫通、専用ペネトレーションあるいはその構造境界を利用して外側へと導かれる。光ファイバの他端に設置された光ファイバコネクタ78 a, 78 b, 78 c…および79 a, 79 b, 79 c…は、ほぼ一個所に集めておく。当然、それらは図示しない適当な固定治具で被検査材3あるいはその他の周辺部材に焦点などの照射集光条件が変化しないように固定されているもよい。このように構成することにより、遮蔽物内部を

対象とする検査が可能なレーザ超音波検査装置を実現することができる。

【0167】なお、本実施形態において、被検査材3は狭隙部に設置された配管、容器、機器、構造物を対象としてもよい。この場合、光ファイバ24 a, 24 b, 24 c…および29 a, 29 b, 29 c…は保温材80を貫通し、検査装置が設置される遠隔部まで導かれる。

【0168】以上説明したように、第13～第18実施形態によれば、搬送機構やその制御機構などと組み合わせる構成することにより、効果的な検査を行うことが可能となる。

【0169】〔第19実施形態〕図33は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第19実施形態を示すブロック構成図である。

【0170】本実施形態は、図33に示すように被検査材3の表面に付着物81、特に錆や塗装など超音波の伝播や受信感度を低下させる物質が付着している対象を検査する場合に有効な構成である。

【0171】レーザ光源82から発振したレーザ光CLを方位Dに走査することによる付着物81の除去技術（レーザクリーニング技術）は、例えば特開平7-225300号公報によって公知となっている。このレーザ光CLは、付着物81の除去プロセスで超音波も励起するので、これと受信用光学系5などを組み合わせることで、表面を清掃しつつレーザ超音波検査を行うことが可能となる。特に、既存のレーザクリーニング装置の先端にファイバ出射用光学系30を設置するだけで装置構成上の負荷も少なく、既存のレーザクリーニング設備をほとんど変更することなしに、清掃だけでなく検査を行うことが可能なレーザ超音波検査装置を実現することができる。

【0172】〔第20実施形態〕図34は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第20実施形態を示すブロック構成図である。

【0173】本実施形態は、図34に示すように被検査材3表面の応力状態を改善しつつ、対象を検査する場合に有効な構成である。レーザ光源83から発振したレーザ光PeLを方位Dに走査することによる被検査材3の表面応力改善技術（レーザピーニング技術）は、例えば前述の“「Yuji Sano et. al. “Process and application of shock compression by nanosecond pulses of frequency-doubled Nd: YAG laser,” Proc. of ALPHA'99 SPIE, Osaka, November 1999年」によって公知となっている。

【0174】このレーザ光PeLは、被検査材3表面の応力状態を改善するプロセスで超音波も励起するので、これと受信用光学系5などを組み合わせることで、表面

応力を改善しつつ、レーザ超音波検査を行うことが可能となる。特に、既存のレーザピーニング装置の先端にファイバ出射用光学系30を設置するだけなので、装置構成上の負担も少なく、既存のレーザピーニング設備をほとんど変更することなしに、応力改善だけでなく検査を行うことが可能なレーザ超音波検査装置を実現することができる。

【0175】〔第21実施形態〕図35は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第21実施形態を示すブロック構成図である。

【0176】本実施形態は、図35に示すように被検査材3の材質を分析しつつ、対象を検査する場合に有効な構成である。パルスレーザ光源としてのレーザ光源84から発振したレーザ光BLを照射して被検査材3表面の微小体積をアブレーションさせ、その発光を集光用光学系85を用いて集光し、光ファイバ86でぶ前せき手段としての分光分析・評価装置87まで導いて分光分析することで、材料組成を分析する手法はレーザブレイクダウン分光分析技術として公知となっている。

【0177】このレーザ光BLは、被検査材3をプラズマ発光させるプロセスで超音波も励起するので、これと受信用光学系5などを組み合わせることで、材料組成を分析しつつレーザ超音波検査を行うことが可能となる。

【0178】本実施形態では、特に既存のレーザブレイクダウン分光分析装置の先端にファイバ出射用光学系30を設置するだけなので、装置構成上の負担も少なく、既存のレーザブレイクダウン分光分析設備をほとんど変更することなしに材料組成分析だけでなく、検査を行うことが可能なレーザ超音波検査装置を実現することができる。

【0179】〔第22実施形態〕図36は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第22実施形態を示すブロック構成図である。

【0180】本実施形態は、被検査材3のき裂や材料特性などを、レーザ光ELで励起した超音波のうち表面波成分の伝播に着目して検査する場合に有効な構成である。

【0181】一般に、表面波は被検査材3の表面に液体Wが付着していると減衰が早くなるため、被検査材3が液中に設置されている場合には検出可能な表面波信号レベルが低下するなどの課題がある。

【0182】そこで、本実施形態では、図36に示すようにコンプレッサ88と、このコンプレッサ88に連結されファイバ出力光学系41の近傍に先端が配置された配管89とを設置し、コンプレッサ88を駆動してエアAirを配管89の先端から検査点近傍に吹き付け、超音波送受信点すなわちレーザ光の照射位置と、表面波の伝播経路とを気体雰囲気中に置換するものである。したがって、これらコンプレッサ88および配管89により局所気体雰囲気生成手段が構成される。

【0183】このように構成すれば、減衰の少ない表面波を観察可能である上、レーザ光ELの照射によってダストなどが発生した場合にも、吹き付けられたエアAirによってダストなどが飛散されてレーザ光の伝播経路上の散乱体になりにくいという効果がある。

【0184】〔第22実施形態の変形例〕図37は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第22実施形態の変形例を示すブロック構成図である。

【0185】本変形例は、図37に示すようにレーザ光の照射位置と、表面波の伝播経路とを気体雰囲気中に置換した領域が局所気体雰囲気生成手段としての容器90により覆われている。

【0186】したがって、被検査材3のレーザ光照射位置と表面波の伝播経路とを気体雰囲気中に置換した状態に保持するのが難しい場合には、本変形例のようにその領域を容器90で覆うことで、より容易に置換状態を保持することが可能となる。

【0187】〔第23実施形態〕図38は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第23実施形態を示すブロック構成図である。

【0188】本実施形態は、被検査材3が表面損傷や熱入力を極力防止する必要がある場合の検査の際に有効な構成である。レーザ光ELによる超音波励起過程は、熱歪みモードとアブレーションモードとの2種類がある。

【0189】一般に、熱歪みモードでは被検査材3の表面損傷あるいは熱的な材質変化は生じないが、アブレーションモードでは、ごく表層の蒸発とわずかな入熱が生ずる。

【0190】これを防止するために、本実施形態では、図38に示すように予め検査する被検査材3表面に保護膜91を形成しておき、レーザ光ELを保護膜91に照射すれば、アブレーションモードにおける表面損傷あるいは入熱を抑制することができる。この保護膜91としては、レーザ光ELを効率よく吸収する物質が適しており、レーザ光ELの波長やエネルギーによって選択すべきであり、例えば墨汁や油などの有色液や着色粉末などの微粒子、固体、粉体などでもよい。

【0191】〔第24実施形態〕図39は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第24実施形態を示すブロック構成図である。

【0192】本実施形態は、被検査材3が遠隔に設置され、監視TVカメラの画像などからは確認することができない計測光MLの詳細な焦点合わせが必要な検査の場合に有効な構成である。被検査材3表面からの反射光PLは、ファイバ出射用光学系30から被検査材3の距離が最適になった場合に最も大きくなり、この状態で超音波信号の検出感度も最大となる。しかし、光検出器13に入射する光は反射光PLだけでなく、各光学素子の端面反射や迷光なども存在するため、反射光PLの状況は必ずしも明らかでない。

【0193】そこで本実施形態では、図39に示すように遮蔽板駆動制御装置92からの駆動信号で遮蔽板駆動装置93を駆動させ、これにより戻り光確認手段としての遮蔽板94を動作させ、計測光MLが被検査材3に到達しない状態を形成することにより、その際の光検出器13の出力信号変化から、反射光PLの戻り具合を確認することができる。

【0194】なお、遮蔽板94は計測光MLの散乱体であり、かつ反射率が低いものが望ましい。また、遮蔽板94は光軸に対して直交しないよう角度を付けて設置するのにも効果的であり、この場合には遮蔽板94はミラーでもよい。さらに、例えば図30に示したようにファイバ出射用光学系30を予め微動ステージに搭載しておき、遮蔽板94の動作による光検出器13の出力信号の変化が最大となる位置にファイバ出射用光学系30を位置合わせすることも可能である。

【0195】〔第25実施形態〕図40は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第25実施形態を示すブロック構成図である。

【0196】本実施形態は、被検査材3が遠隔に設置され、監視TVカメラの画像などからは確認することができない計測光MLの詳細な焦点合わせが必要な検査の場合に有効な別の構成例である。被検査材3表面からの反射光PLは、ファイバ出射用光学系30から被検査材3の距離が最適になった場合に最も大きくなり、この状態で超音波信号の検出感度も最大となる。

【0197】ファイバ出射用光学系30から被検査材3の距離の最適値は、ファイバ出射用光学系30の焦点距離からあらかじめ推定することができるので、本実施形態では、図40に示すようにファイバ出射用光学系30の先端に距離センサ95を設置し、この距離センサ95により測定した距離が予め推定された最適値となるよう微動制御装置96で微動ステージ97を動作させることで、常に最適な反射条件で計測することができる。これら微動制御装置96および微動ステージ97により位置調整手段が構成される。

【0198】〔第25実施形態の変形例〕図41は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第25実施形態の変形例を示すブロック構成図である。

【0199】本変形例は、図41に示すようにファイバ出射用光学系30から被検査材3の距離を最適値に保持するものであり、ファイバ出射用光学系30に距離固定用治具98を取り付け、この距離固定用治具98を図示しないばね機構などによって被検査材3に押し当てるようにしている。これにより、簡易な構成でファイバ出射用光学系30から被検査材3の距離を最適値に保持することが可能となる。

【0200】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、超音波の送受信を行うためのレーザ光を光ファイバ、照射

用光学系または照射・集光用光学系を用いて伝送することにより、遠隔非接触性を損なわず、狭隘部の被検査材を効率的に検査することが可能なレーザ超音波検査装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第1実施形態を示すブロック構成図。

【図2】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第1実施形態の変形例を示すブロック構成図。

【図3】図2の構成による効果を示す説明図。

【図4】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第2実施形態を示すブロック構成図。

【図5】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第2実施形態の第1変形例を示すブロック構成図。

【図6】図5の構成による効果を示す説明図。

【図7】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第2実施形態の第2変形例を示すブロック構成図。

【図8】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第3実施形態を示すブロック構成図。

【図9】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第4実施形態を示すブロック構成図。

【図10】(A)、(B)は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第5実施形態を示す説明図。

【図11】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第5実施形態の変形例を示す説明図。

【図12】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第6実施形態を示すブロック構成図。

【図13】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第7実施形態の受信用光学系を示すブロック構成図。

【図14】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第8実施形態のファイバ入射用光学系を示す構成図。

【図15】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第9実施形態を示すブロック構成図。

【図16】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第10実施形態を示すブロック構成図。

【図17】第10実施形態においてウェーブレット変換を用いた信号処理を示す説明図。

【図18】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第11実施形態を示すブロック構成図。

【図19】(A)、(B)は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第12実施形態の表示例を示す説明図。

【図20】(A)、(B)は走査を2次元的に行った場合の表示例を示す説明図。

【図21】(A)、(B)は同じ計測結果を3次元的に示した場合の表示例を示す説明図。

【図22】(A)、(B)は表面波に着目した場合の一例を示す説明図。

【図23】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第13実施形態を示す構成図。

【図24】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第13

実施形態の第1変形例を示す構成図。

【図25】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第13実施形態の第2変形例を示す構成図。

【図26】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第14実施形態を示す構成図。

【図27】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第14実施形態の第1変形例を示す構成図。

【図28】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第14実施形態の第2変形例を示す構成図。

【図29】(A), (B)は本発明に係るレーザ超音波検査装置の第15実施形態を示す構成図。

【図30】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第16実施形態を示す斜視図。

【図31】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第17実施形態を示すブロック構成図。

【図32】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第18実施形態を示すブロック構成図。

【図33】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第19実施形態を示すブロック構成図。

【図34】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第20実施形態を示すブロック構成図。

【図35】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第21実施形態を示すブロック構成図。

【図36】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第22実施形態を示すブロック構成図。

【図37】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第22実施形態の変形例を示すブロック構成図。

【図38】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第23実施形態を示すブロック構成図。

【図39】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第24実施形態を示すブロック構成図。

【図40】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第25実施形態を示すブロック構成図。

【図41】本発明に係るレーザ超音波検査装置の第25実施形態の変形例を示すブロック構成図。

【図42】従来のレーザ超音波検査装置を示すブロック構成図。

【図43】ファブリ・ペロー共振器の動作を示す説明図。

【図44】ファブリ・ペロー共振器の動作を示す説明図。

【図45】従来の他のレーザ超音波検査装置を示すブロック構成図。

【図46】従来のさらに他のレーザ超音波検査装置を示すブロック構成図。

【符号の説明】

- 1 レーザ光源 (第1のレーザ光源)
- 2 光学系
- 3 被検査材
- 4 レーザ光源 (第2のレーザ光源)

5 受信光学系

6a~6c 1/2波長板

7a~7f 偏光ビームスプリッタ

13 光検出器 (信号変換手段)

14 信号処理装置

15 表示装置

16 評価装置

17 ファブリ・ペロー共振器

18 光検出器

19 制御器

20 駆動機構

21 1/4波長板

23 ファイバ入射用光学系 (第1の入射用光学系)

24 光ファイバ (第1の光ファイバ)

25 ファイバ出射用光学系 (照射用光学系)

26 光分岐器

28 ファイバ入射用光学系 (第2の入射用光学系)

29 光ファイバ (第2の光ファイバ)

30 ファイバ出射用光学系 (照射・集光用光学系)

31 結像光学系

32 結像光学系

34 ファイババンドル

35 ファイバ出射用光学系

36 2次元アレイ型光検出器

37 光学系

38 光分岐器 (光合成・分岐手段)

39 ファイバ入射用光学系 (両用入射用光学系)

40 光ファイバ (両用光ファイバ)

41 ファイバ出射用光学系 (両用照射・集光光学系)

42 狭帯域光フィルタ

43a, 43b 無反射コート付き窓部

44a, 44b 容器

45a, 45b 媒質

46 凹レンズ

47 マイクロレンズアレイ

48 レンズ

49 時間ゲート

50 S/N比改善手段

51a, 51b 駆動機構

52 レール

53 無軌道走行台車

54 検査アーム

55 位置検出装置

56 監視用TVカメラ

57a, 57b 通信装置

58 駆動・制御装置

59 軌道

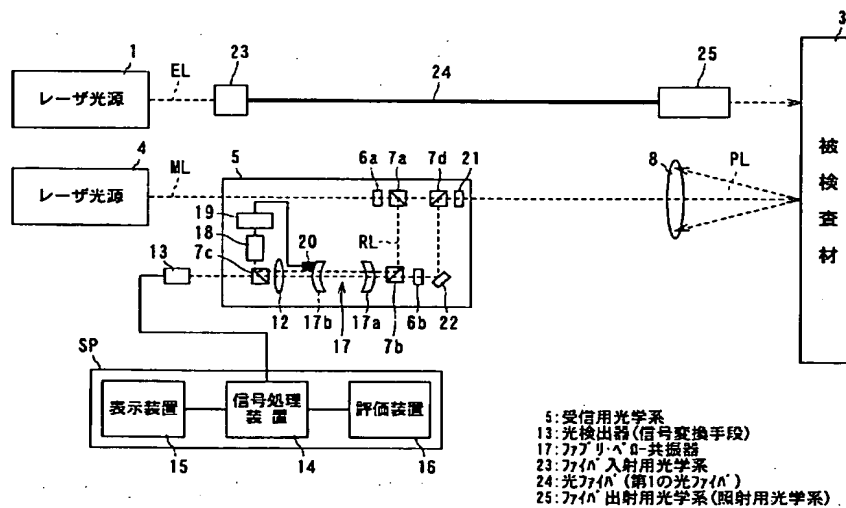
60 モノレール式走行台車

61 可搬型レール

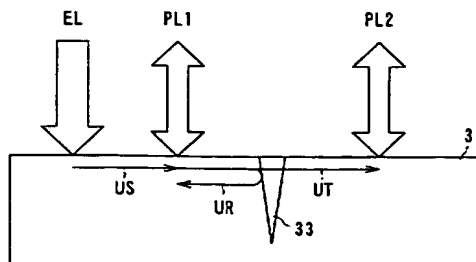
62 走行台車

- | | | | |
|---------------|-----------|-----|-----------|
| 63 | 原子炉 | 82 | レーザ光源 |
| 64 | 原子炉内構造物 | 83 | レーザ光源 |
| 65 | パルス光伝送装置 | 84 | レーザ光源 |
| 67 | 炉内検査ロボット | 85 | 集光用光学系 |
| 68 | 配管 | 86 | 光ファイバ |
| 69 | 移動ロボット | 87 | 分光分析・評価装置 |
| 70 | 軌道 | 88 | コンプレッサ |
| 71 | 走行台車 | 89 | 配管 |
| 72 a, 72 b | 照射用ミラー | 90 | 容器 |
| 73 | 導波管 | 91 | 保護膜 |
| 74 | 水中遊泳ロボット | 92 | 遮蔽板駆動制御装置 |
| 75 | 駆動モータ | 93 | 遮蔽板駆動装置 |
| 76 | 構造部材 | 94 | 遮蔽板 |
| 77 | 固定機構 | 95 | 距離センサ |
| 78, 78 a~78 c | 光ファイバコネクタ | 96 | 微動制御装置 |
| 79, 79 a~79 c | 光ファイバコネクタ | 97 | 微動ステージ |
| 80 | 保温材 | 98 | 距離固定用治具 |
| 81 | 付着物 | S P | 信号処理装置 |

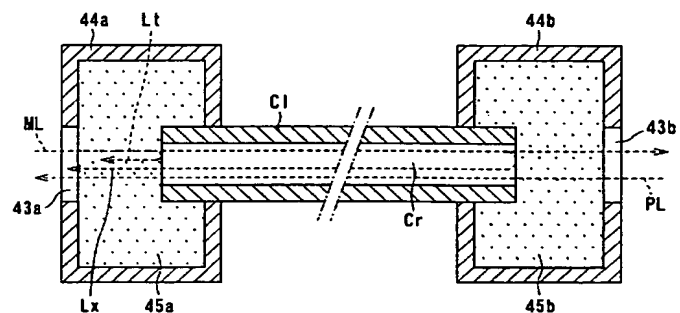
【図1】



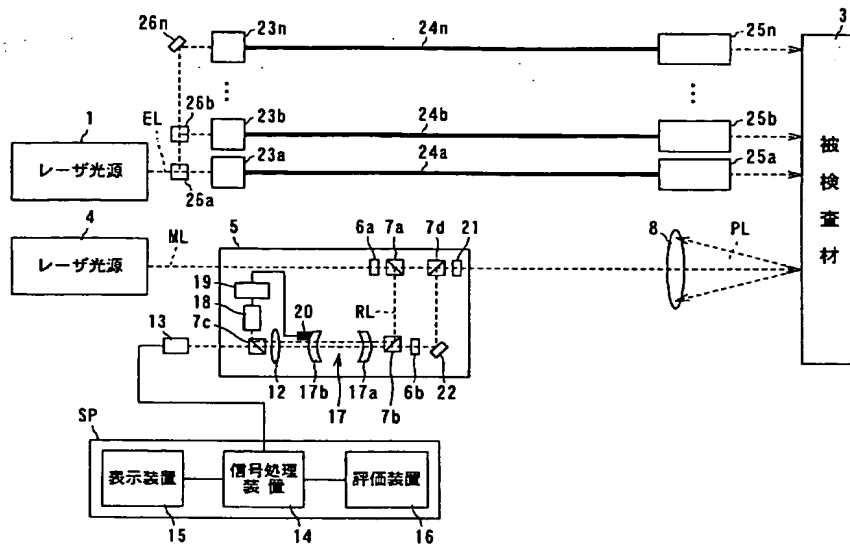
【図6】



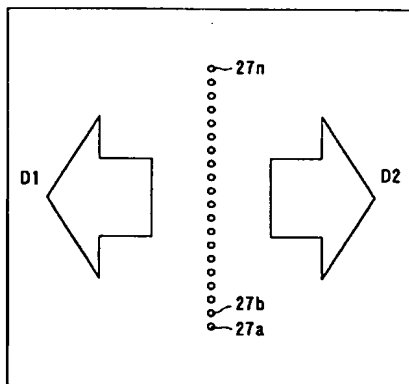
【図11】



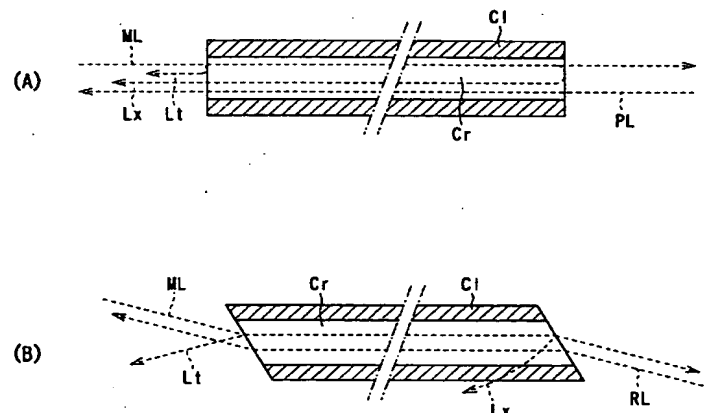
【図2】



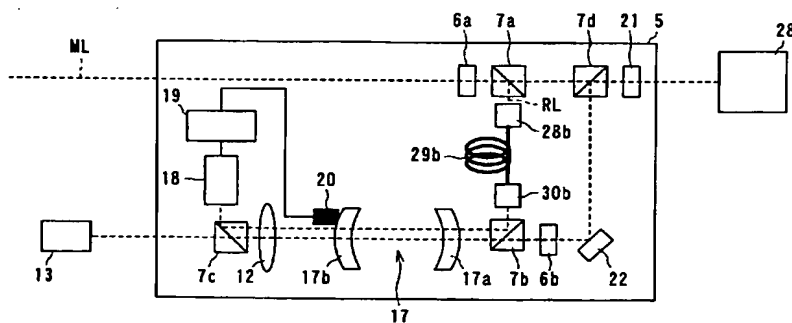
【図3】



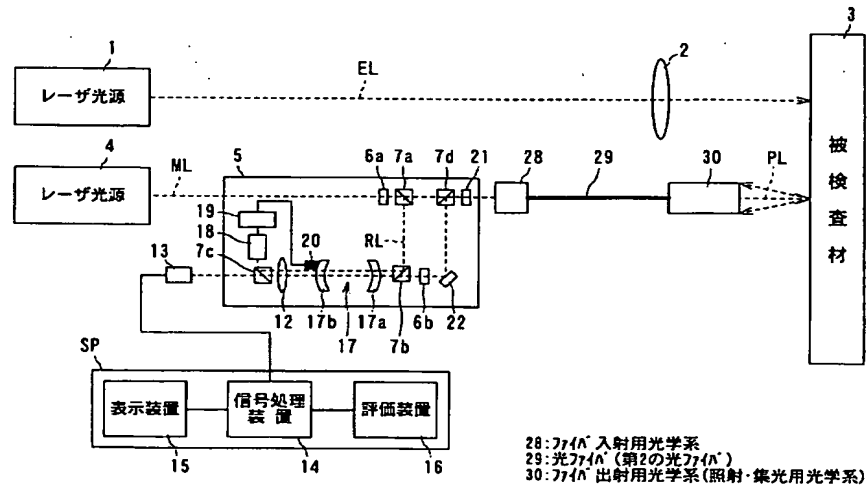
【図10】



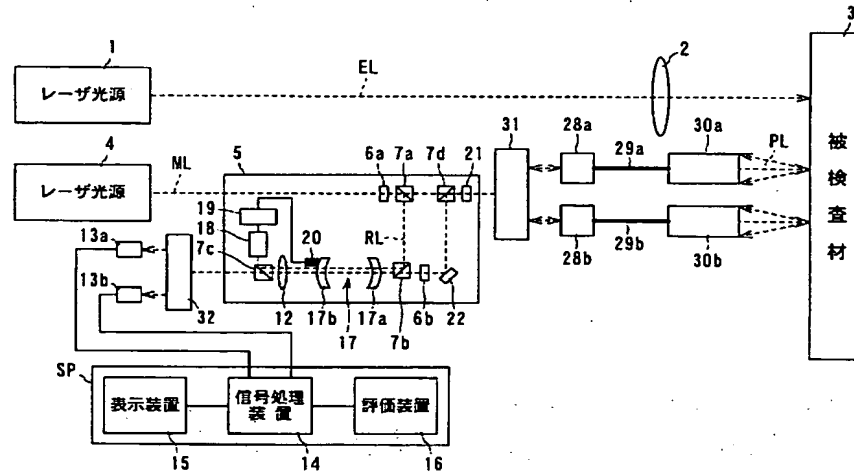
【図13】



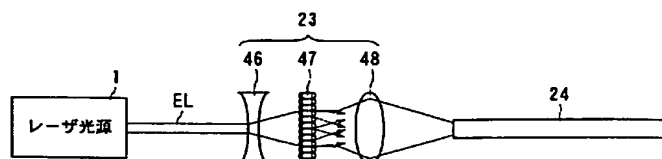
【図4】



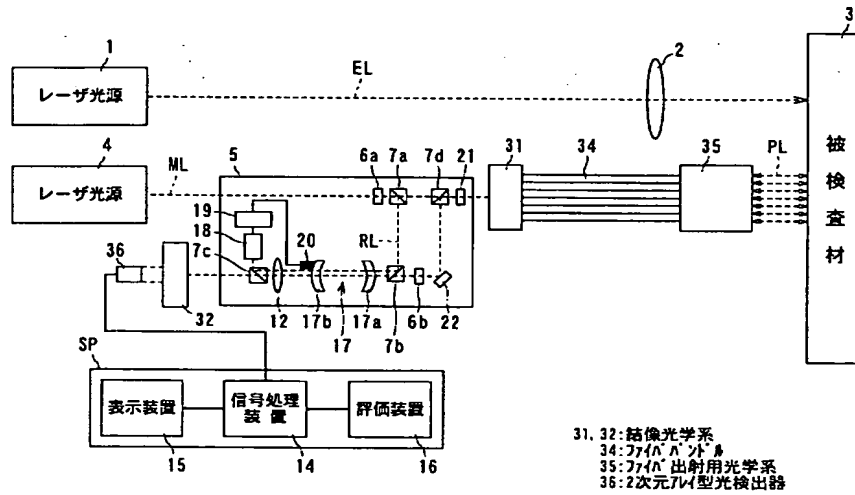
【図5】



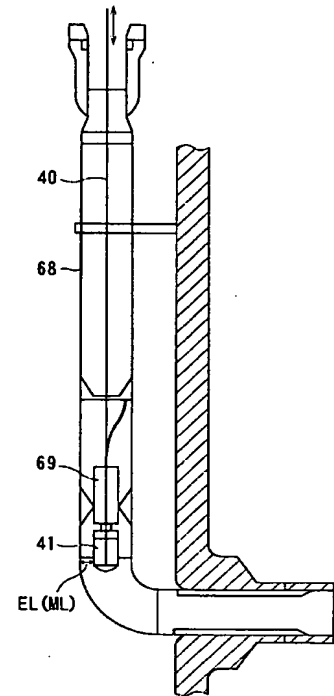
【図14】



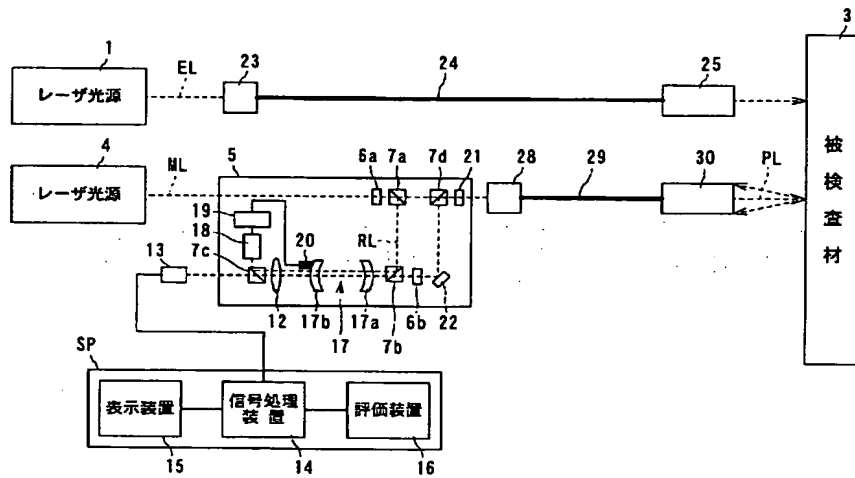
【図7】



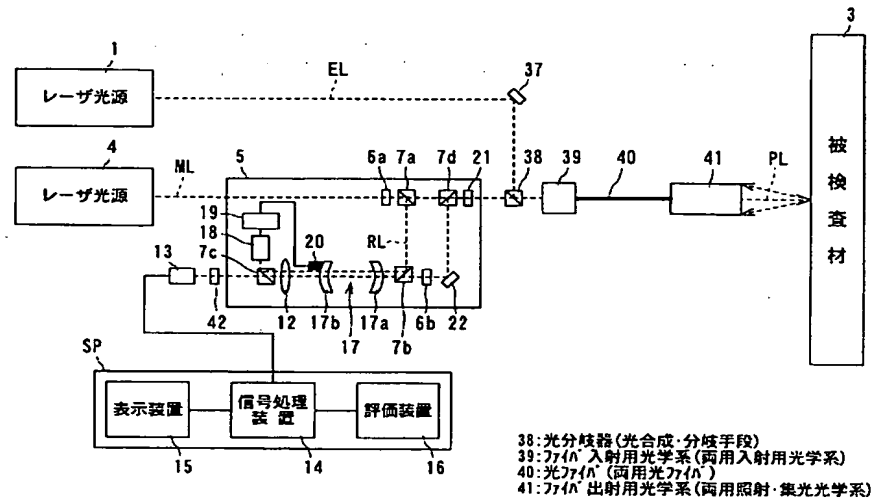
【図28】



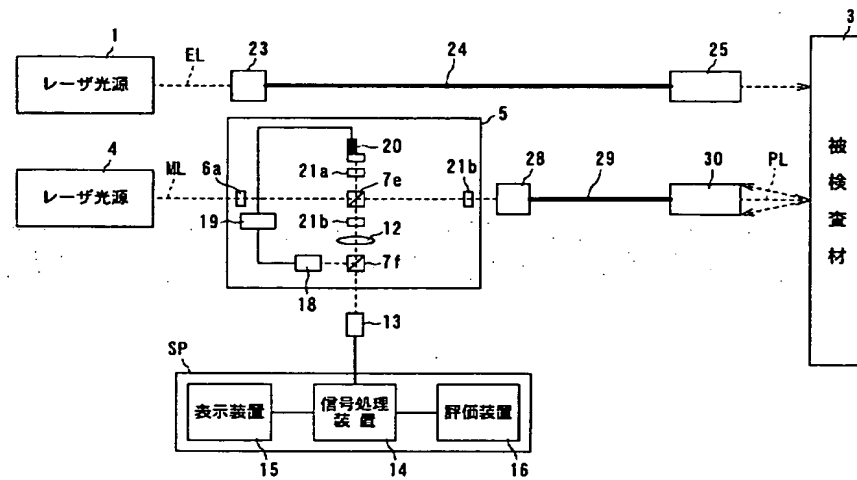
【図8】



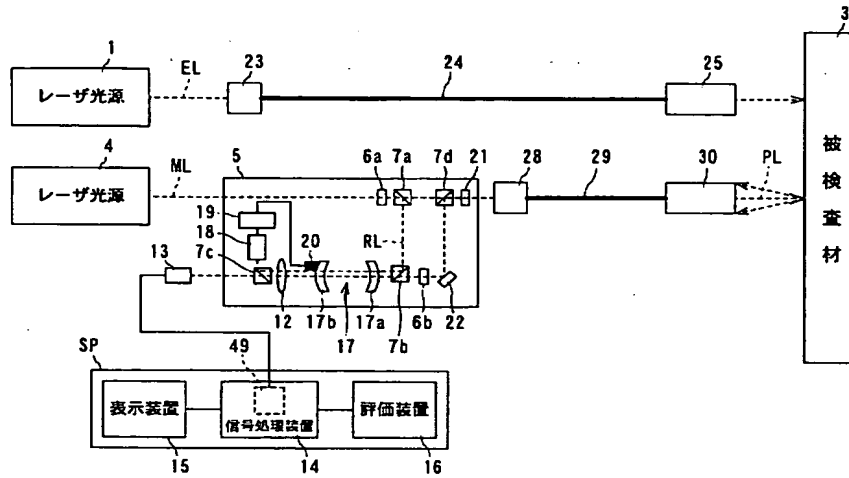
【図9】



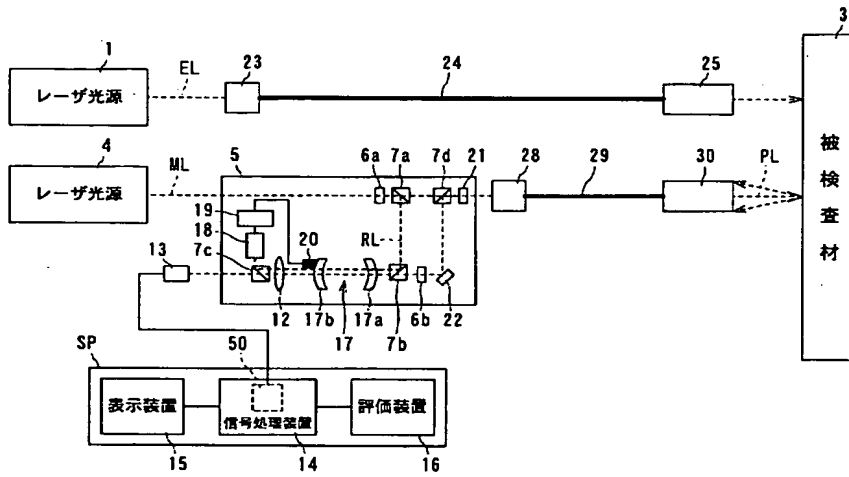
【図12】



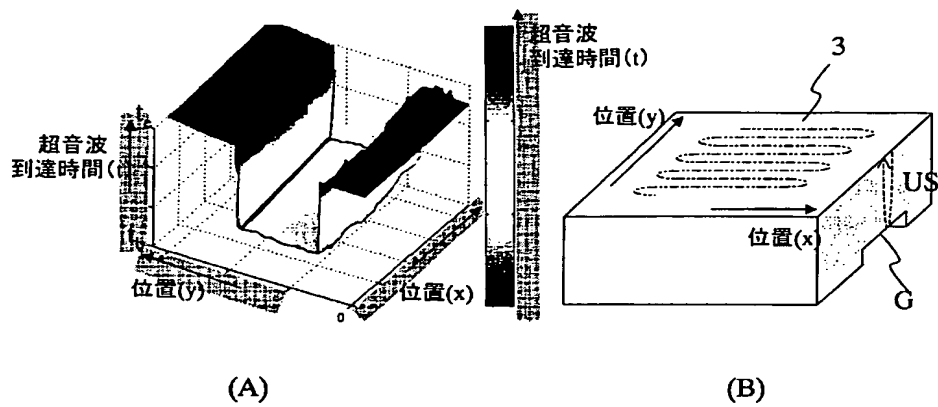
【図15】



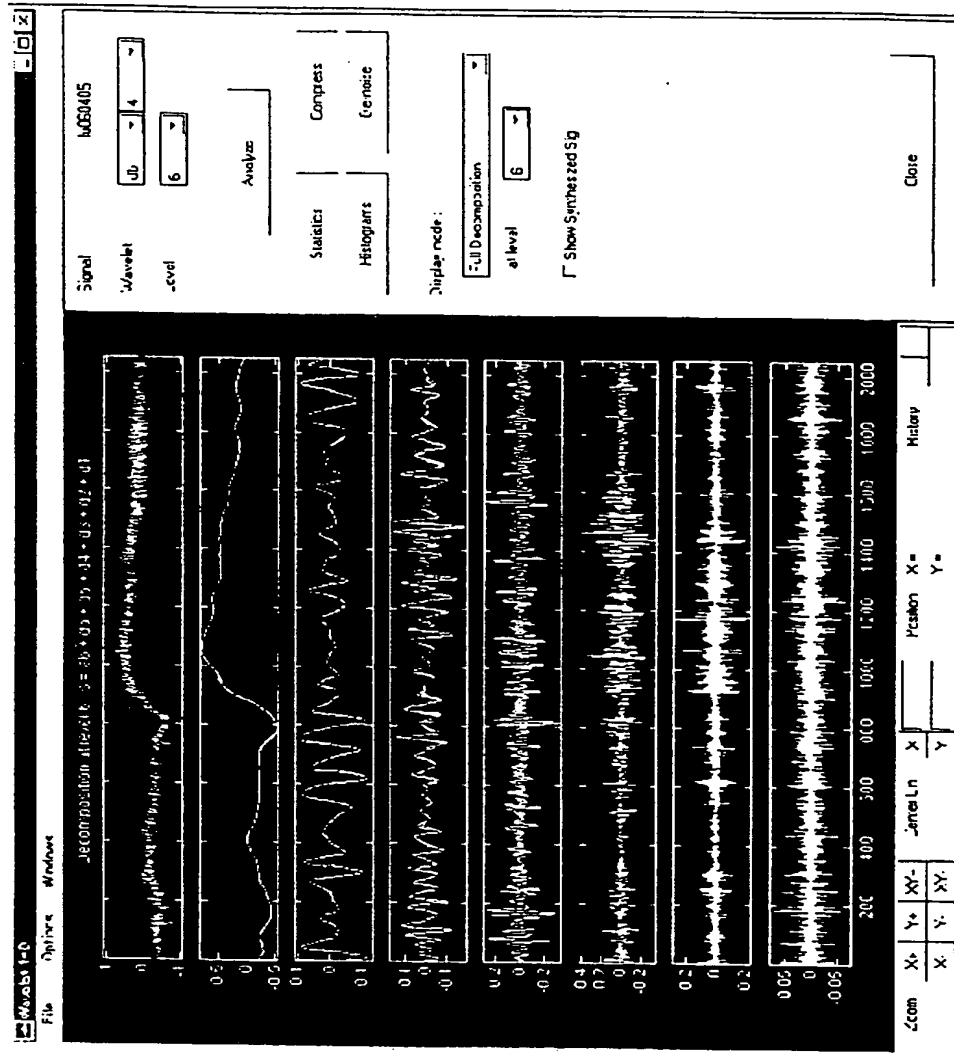
【図16】



【図21】



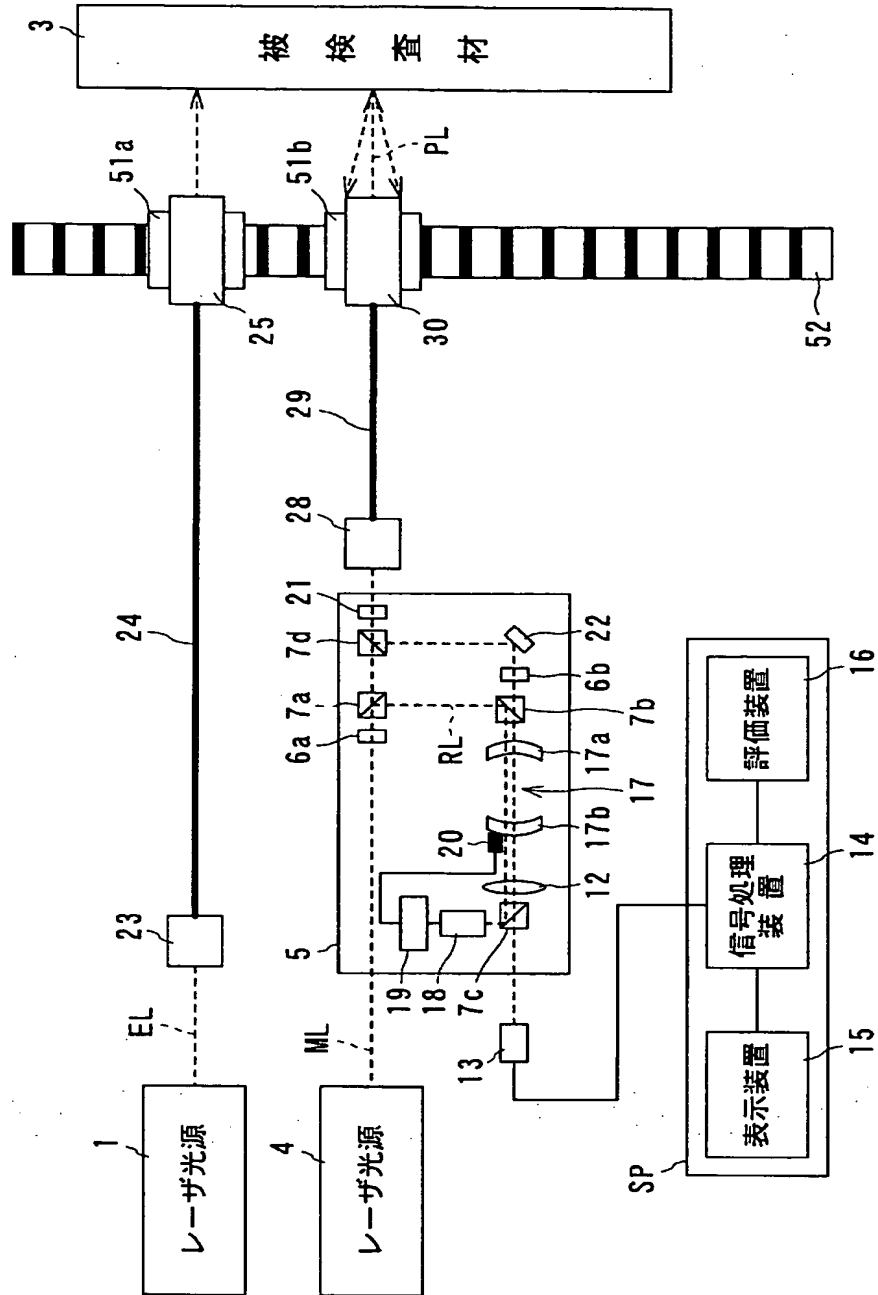
【図17】



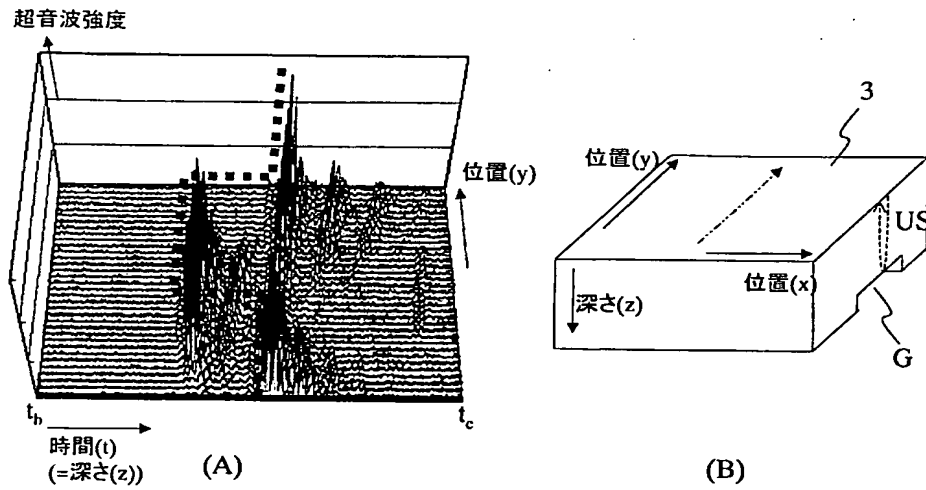
原波形

ウェーブレット
変換信号

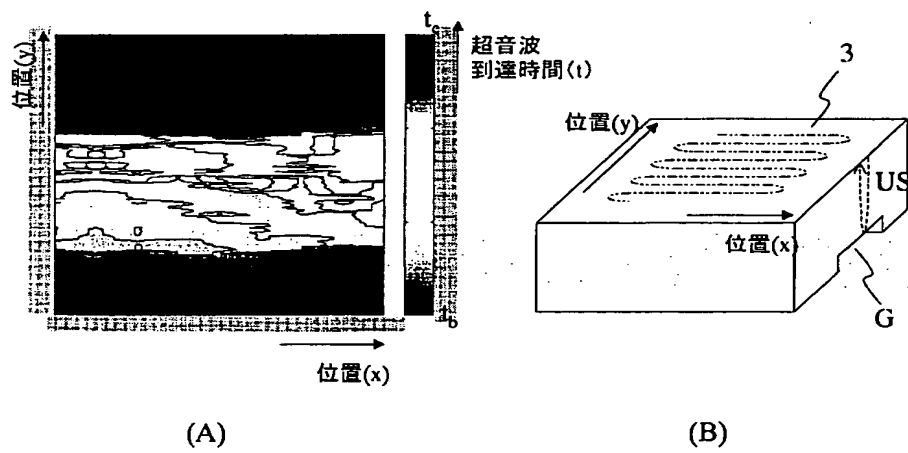
【図18】



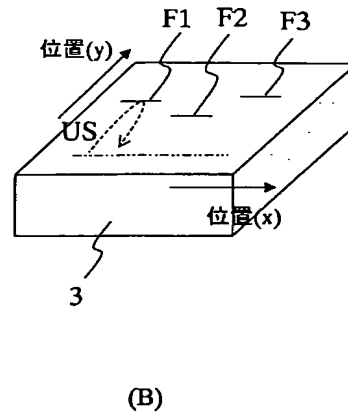
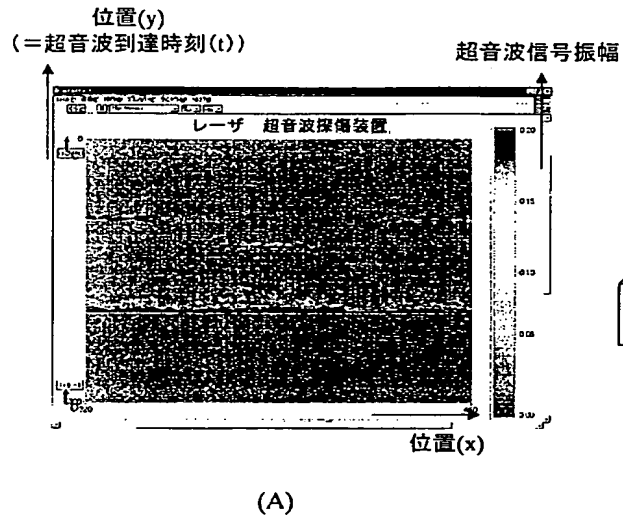
【図 19】



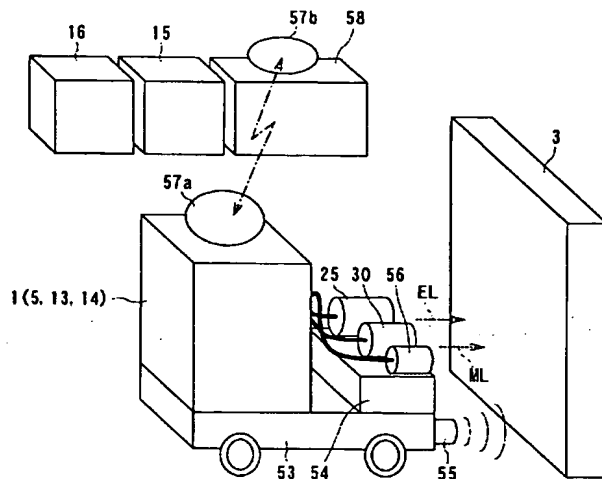
【図 20】



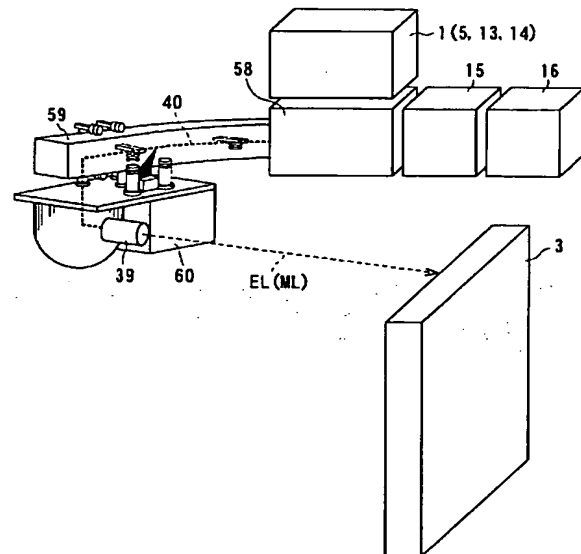
【図22】



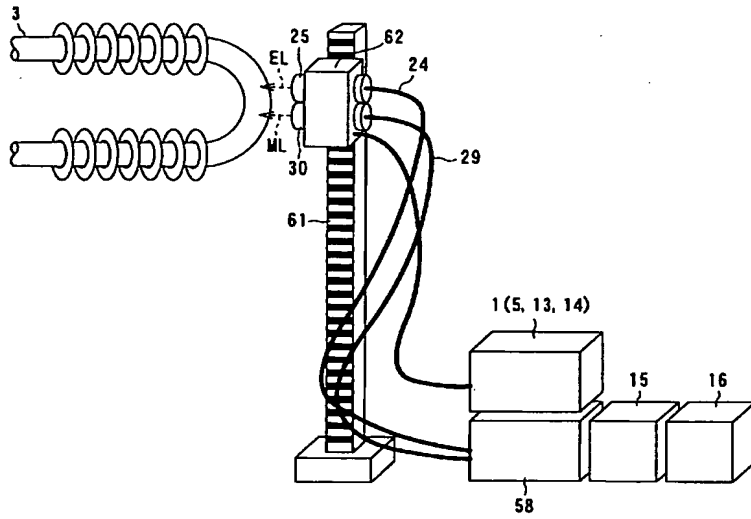
【図23】



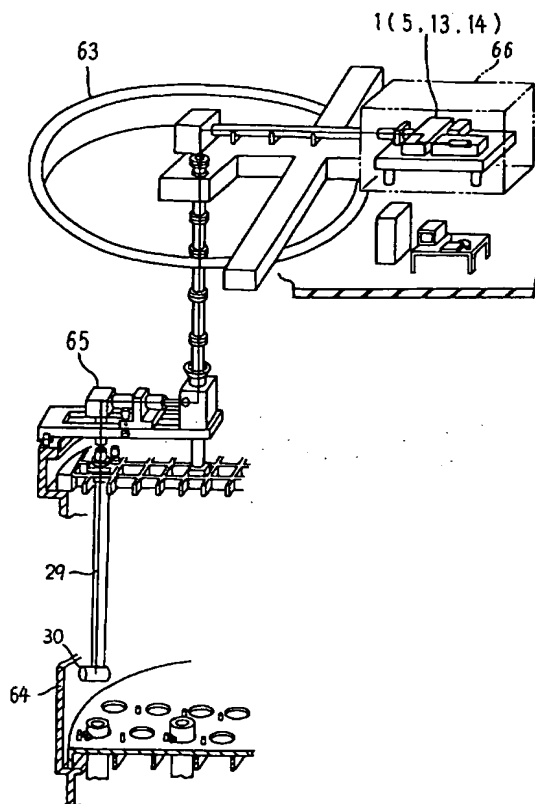
【図24】



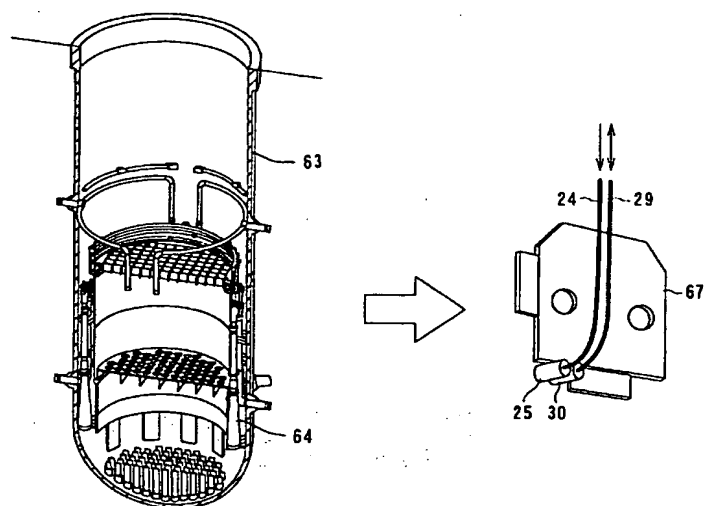
【図 25】



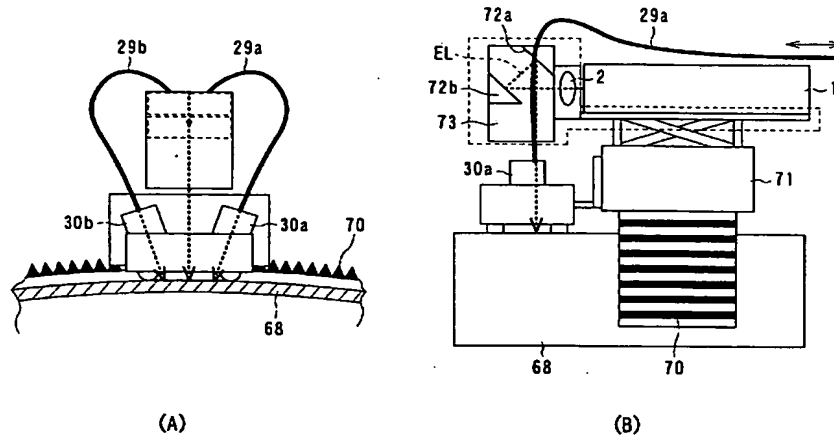
【図 26】



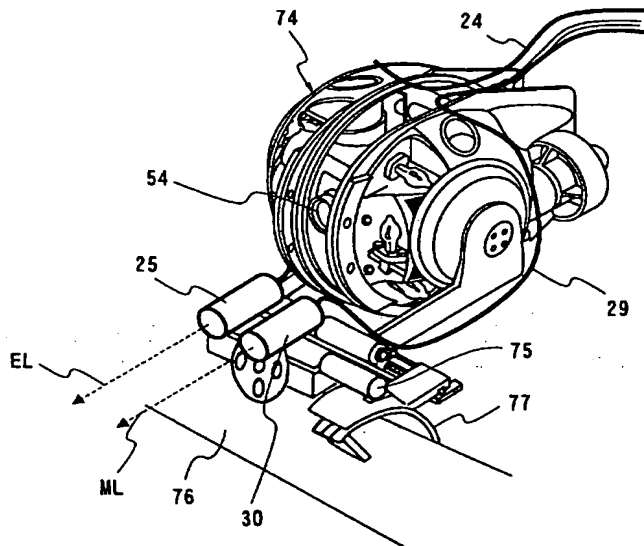
【図 27】



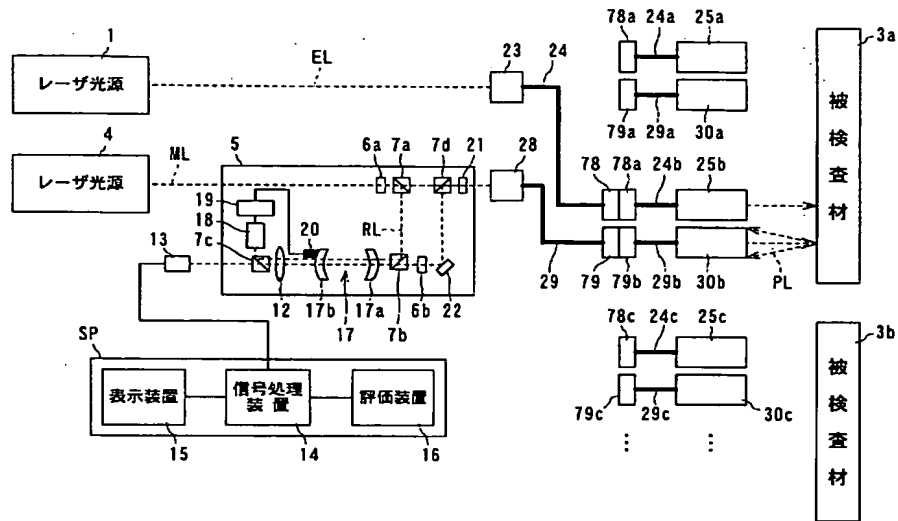
【図29】



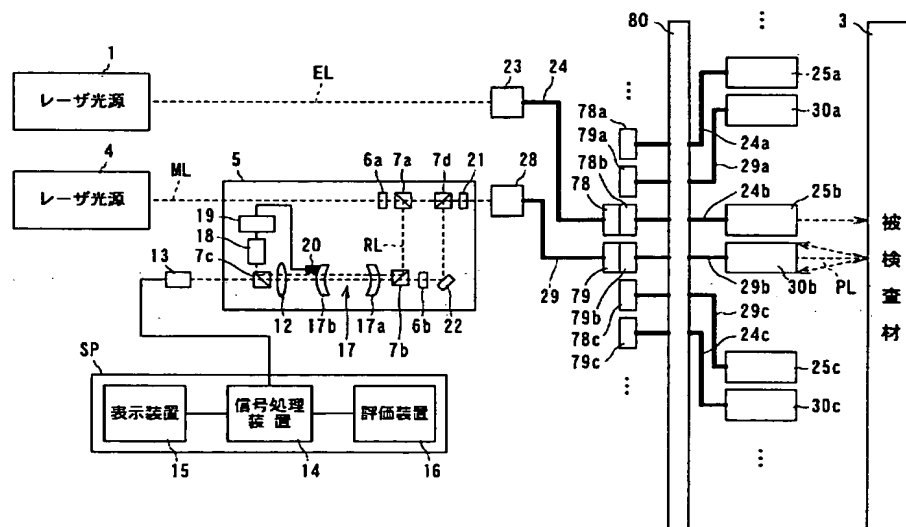
【図30】



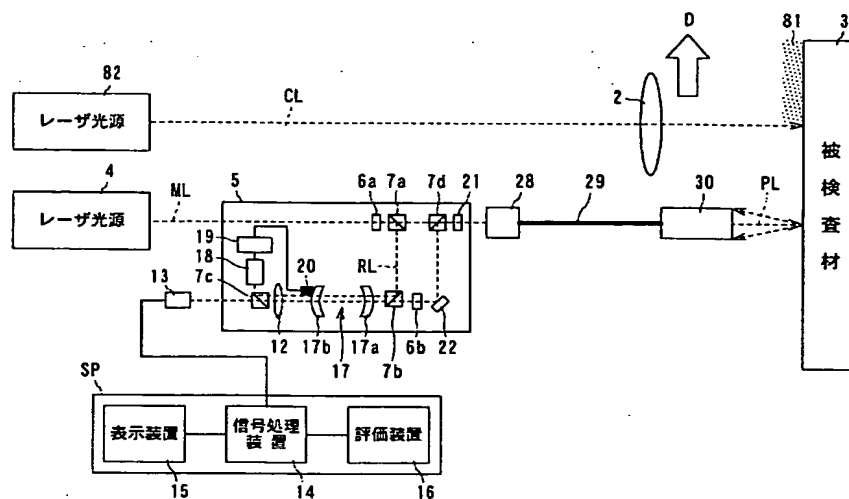
【図 31】



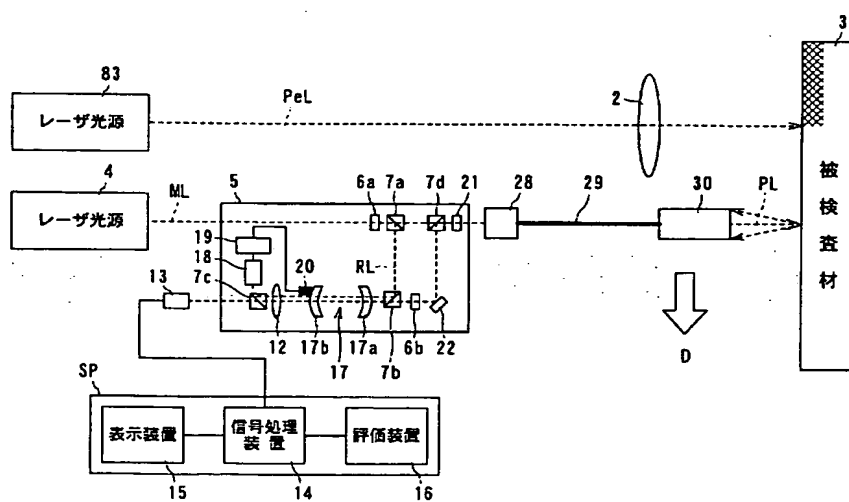
【図 32】



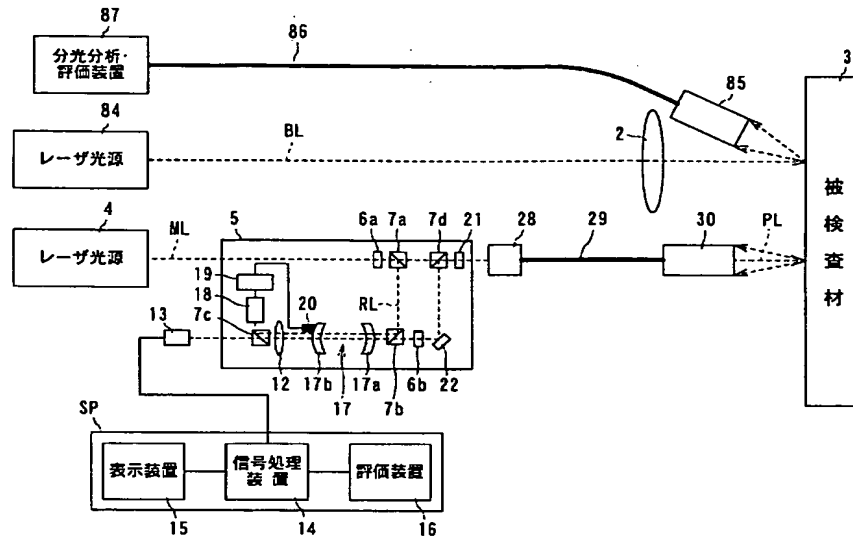
【図33】



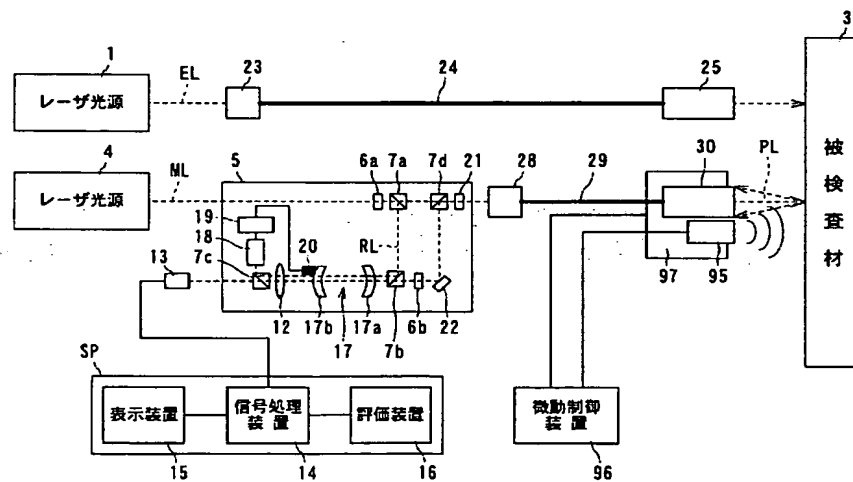
【図34】



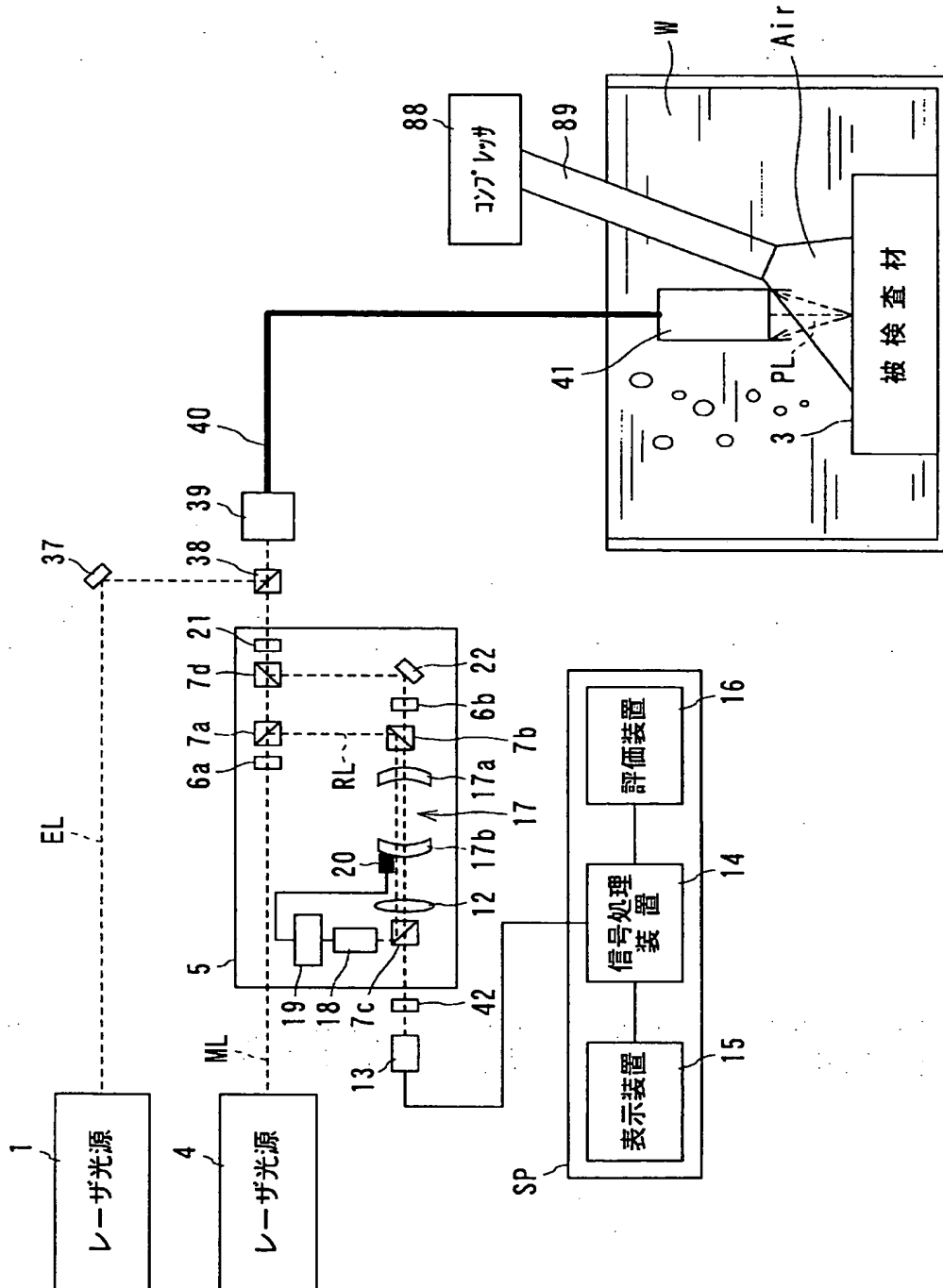
【図35】



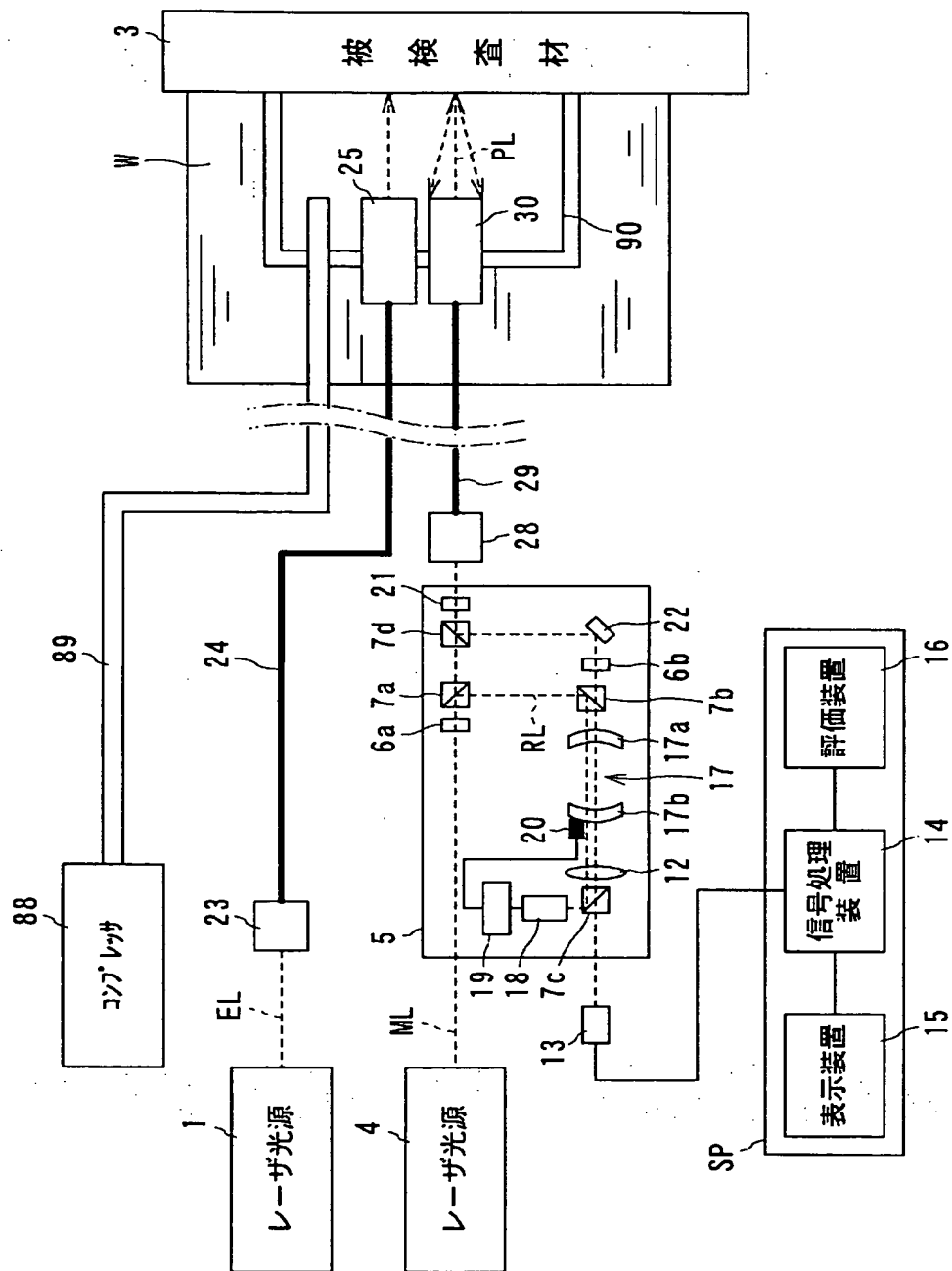
【図40】



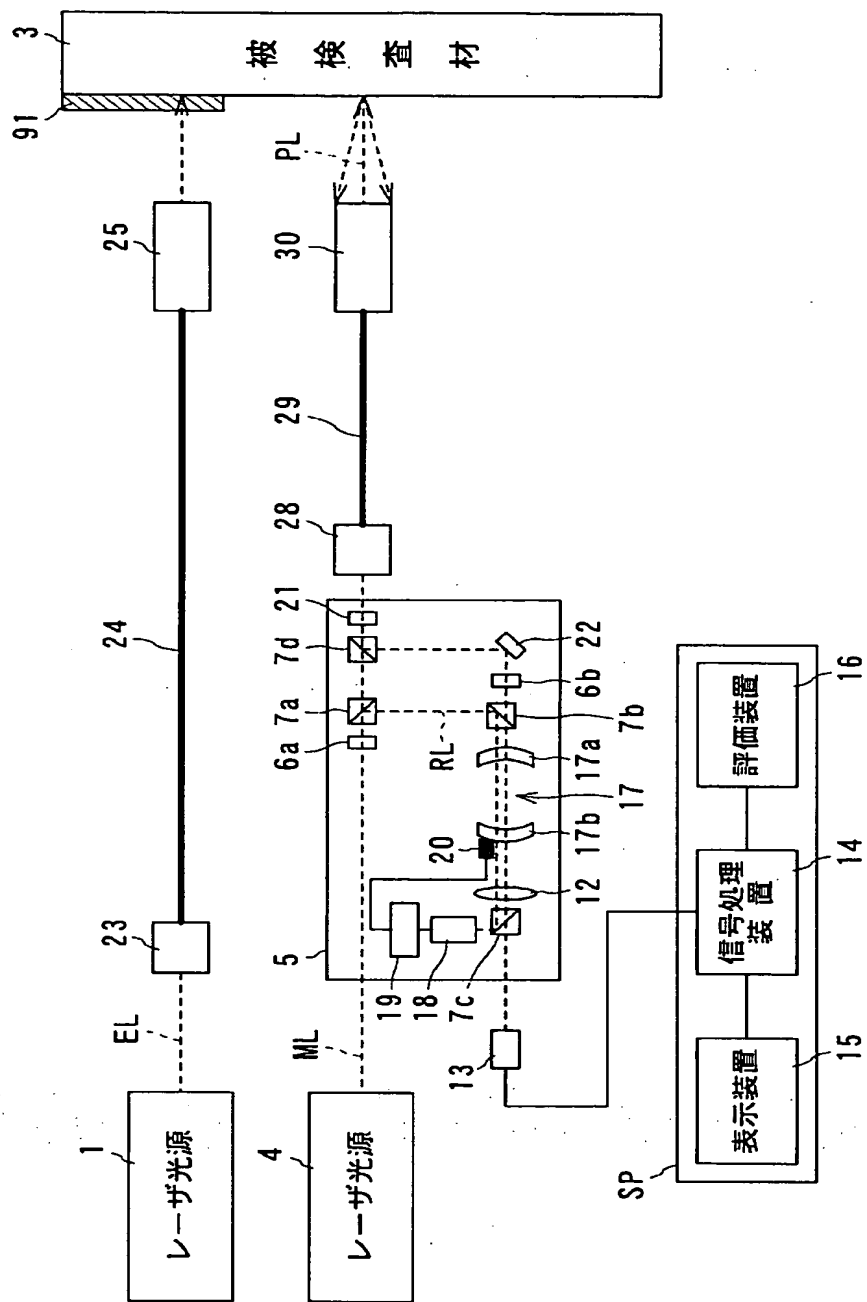
【図36】



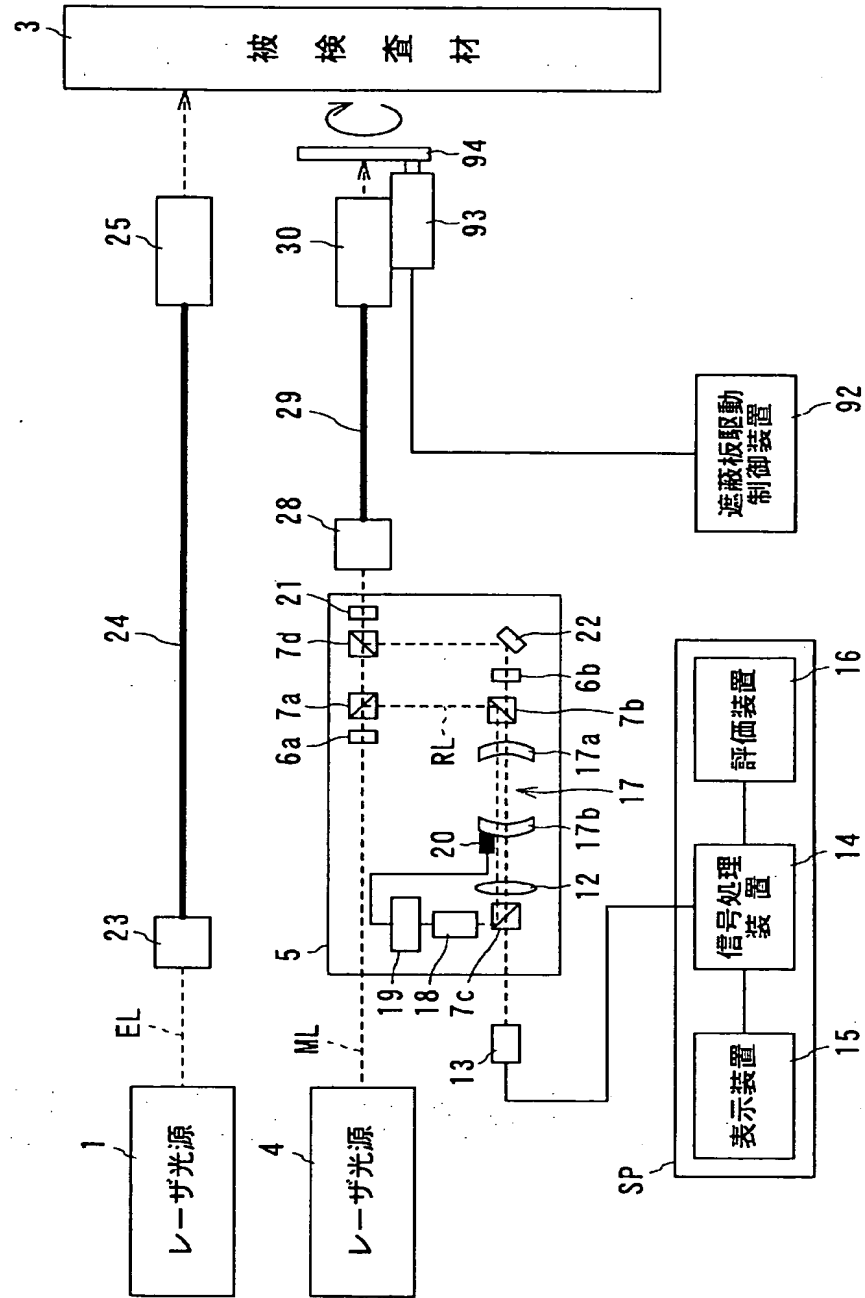
【図37】



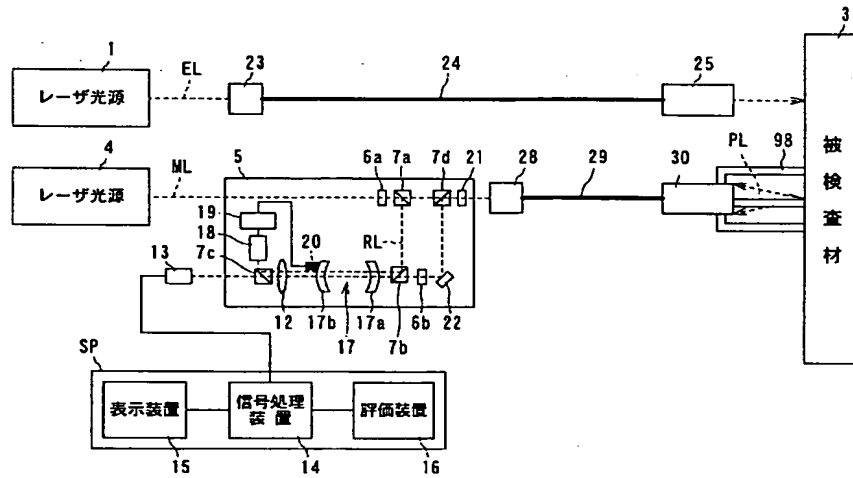
【図38】



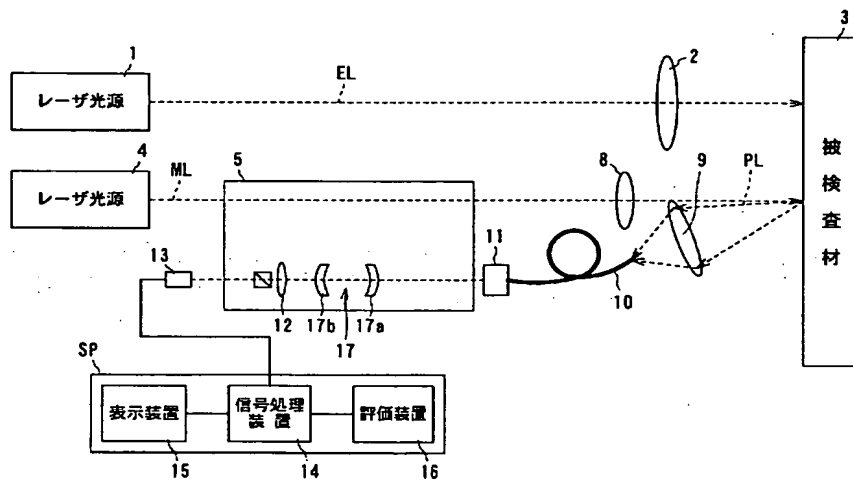
【図39】



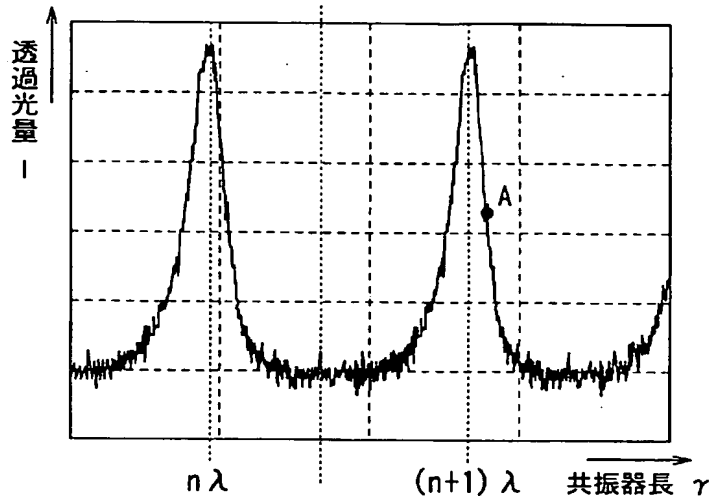
【図41】



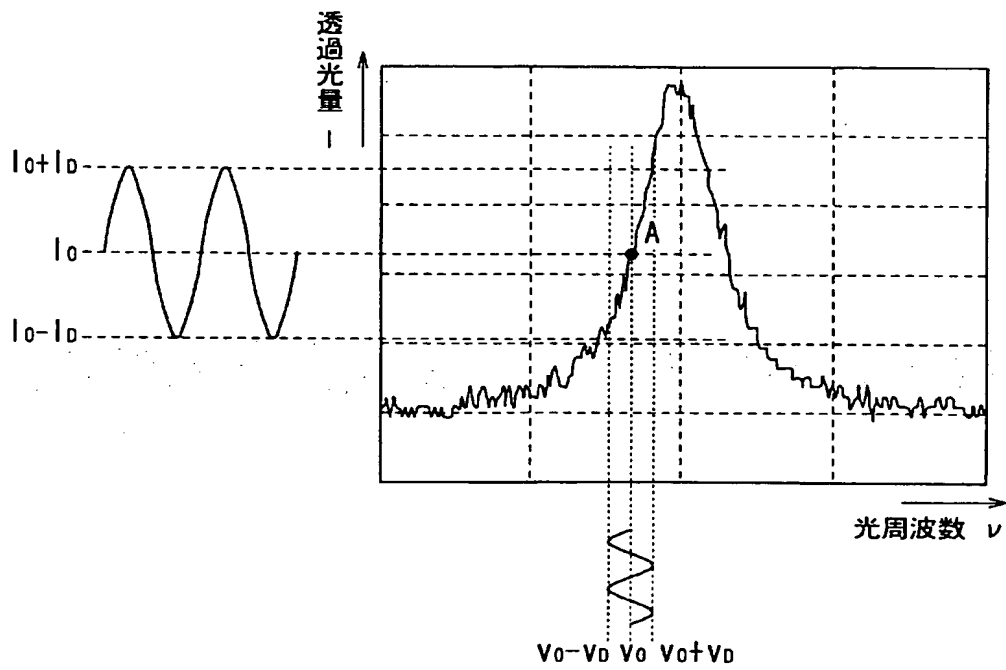
【図42】



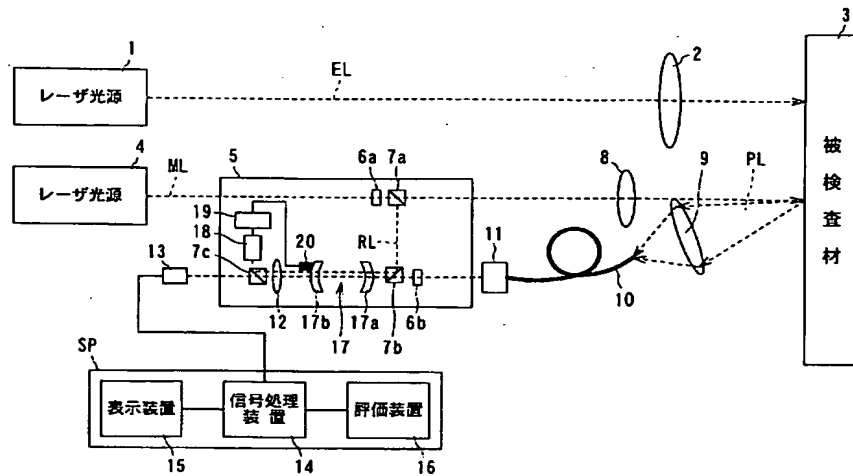
【図43】



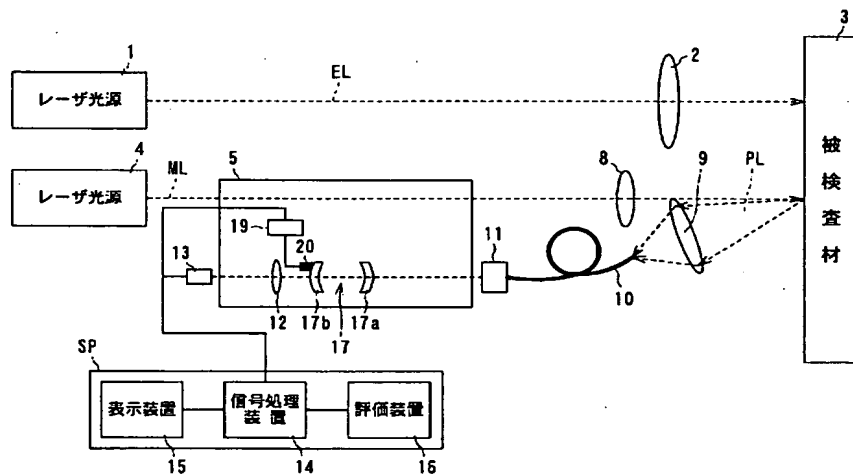
【図44】



【図45】



【図46】



フロントページの続き

(72)発明者 三浦 崇広
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内
(72)発明者 向井 成彦
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内
(72)発明者 佐野 雄二
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 伊藤 智之
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内
(72)発明者 成瀬 克彦
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内
(72)発明者 空本 誠喜
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

Fターム(参考) 2G047 BA04 CA04 EA00 GD01

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.